

Diagnóstico del Acueducto Comunal de Cuajiniquil de La Cruz de Guanacaste, con enfoque de diseño resiliente ante eventos climáticos extremos.


Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

María Jesús Morales López

Cartago, Junio 2019.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Braulio Umaña Quirós, Ing. Maikel Méndez Morales, Ing. José Andrés Araya Obando, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director

Braulio E. Umaña Q.

Ing. Braulio Umaña Quirós.
Profesor Guía



Ing. Maikel Méndez Morales.
Profesor Lector



Ing. José Andrés Araya Obando.
Profesor Observador

Diagnóstico del Acueducto Comunal de Cuajiniquil de La Cruz de Guanacaste, con enfoque de diseño resiliente ante eventos climáticos extremos.



Abstract

The Administrative Associations of the Aqueduct and Sewerage Systems (ASADAS) provide in Costa Rica potable water and sanitation services to approximately 30% of the population. However, it is a challenge to provide excellent services to communities as community water management faces the challenge of overcoming the lag of investment in infrastructure and at the same time incorporate criteria of resilient design in the face of the effects of Climate Change (CC).

In 2018, the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewers (AyA), in its role as the lead agency, and in conjunction with the Institute for Rural Development (INDER) and the United Nations Development Program (UNDP), the task of generating a guide for the elaboration of infrastructure projects in communal aqueducts. In reference to the framework in context, there is a need to apply the guide and assess it; task that will begin through this project.

In general terms, the diagnostic chapter will be applied, specifically in the aqueduct of the Cuajiniquil de La Cruz ASADA, which was affected by the Tropical Storm Nate in October 2017. This extreme climatic event evidenced the need to include a resilient approach to the new designs of the system and avoid "reconstructing the vulnerability" of the infrastructure.

The diagnosis of the existing infrastructure will be made, which includes a hydraulic balance of the aqueduct. In addition, a spatial and risk analysis will be carried out, which will analyze proposals for rehabilitation or reconstruction considering criteria of resilient infrastructure and finally, a judgment of design or improvement of the existing infrastructure will be given.

Keywords:

ASADA, aqueduct, resilient infrastructure, Climate Change, flood, Tropical Storm Nate.

Resumen

Las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales (ASADAS) proporcionan en Costa Rica servicios de agua potable y saneamiento a un 30% de la población, aproximadamente. No obstante, es un reto brindar sus servicios a las comunidades con excelencia; pues, la gestión comunitaria del agua enfrenta el desafío de vencer el rezago de inversión en infraestructura, además de incorporar criterios de diseño resiliente ante los efectos del Cambio Climático (CC).

En el 2018, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), en su papel de ente rector, junto al Instituto de Desarrollo Rural (INDER) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se dieron a la tarea de generar una guía para la elaboración de proyectos de infraestructura en acueductos comunales.

Ante este contexto, surge la necesidad de aplicar la guía y valorarla, lo cual se pretende comenzar a realizar por medio de esta investigación. En términos generales, se aplicó el capítulo de diagnóstico, específicamente en el acueducto de la ASADA Cuajiniquil de La Cruz, que fue afectado por la Tormenta Tropical Nate en octubre del 2017. Este evento climático extremo mostró la necesidad de incluir un enfoque resiliente a los nuevos diseños del sistema y evitar "reconstruir la vulnerabilidad" de la infraestructura.

Por esta razón, se realizó el diagnóstico de la infraestructura existente, el cual incluye un balance hidráulico del acueducto. Además, de un análisis espacial y de riesgos, con lo que se analizaron propuestas de rehabilitación o reconstrucción considerando criterios de infraestructura resiliente y finalmente, se dio un criterio de diseño o mejora de la infraestructura existente.

Palabras clave:

ASADA, acueducto, infraestructura resiliente, Cambio Climático, inundación, Tormenta Tropical Nate.

Diagnóstico del Acueducto Comunal de Cuajiniquil de La Cruz de Guanacaste, con enfoque de diseño resiliente ante eventos climáticos extremos.

MARÍA JESÚS MORALES LÓPEZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio de 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	2
Resumen ejecutivo.....	4
Abreviaturas.....	6
Introducción	7
Marco conceptual.....	10
Metodología	14
Alcances y limitaciones	45
Análisis de los resultados	46
Conclusiones	53
Recomendaciones	55
Anexos.....	71
Referencias.....	95

Prefacio

En el mundo, aproximadamente 1800 millones de personas utilizan una fuente de agua potable que está contaminada, alrededor de 2400 millones no tienen acceso a saneamiento básico y más de 800 niños mueren cada día por enfermedades asociadas con el agua y el saneamiento. Además, la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y más del 80% de las aguas residuales se vierte en ríos o el mar sin ningún tratamiento, lo cual genera contaminación. (ONU, 2018). Por esas razones, el abastecimiento de agua potable y el saneamiento fueron declarados como Derecho Humano por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2010).

En Costa Rica, la prestación de ambos servicios públicos se da por medio del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) como ente rector y operador. En los sitios en donde no opera, delega el servicio a Municipalidades, Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADAS).

Haciendo énfasis en los acueductos comunales, a partir del año 2000 se promulgó el Reglamento de las ASADAS mediante el Decreto Ejecutivo No. 29100-S, en el cual se establece formalmente una serie de normas que favorecen y fortalecen la delegación de la administración, así como la operación, el mantenimiento y el desarrollo de los sistemas en las ASADAS (AyA, 2015). Sin embargo, el origen de estas asociaciones es anterior a la publicación del decreto; pues, comenzó con la conformación de los Comités de Agua que resolvieron el reto del acceso al agua potable de las comunidades rurales donde la infraestructura no existía.

Según estadísticas determinadas por el Laboratorio Nacional de Agua (LNA), el indicador de cobertura y calidad del agua para consumo humano en promedio a nivel país es de un

67,00% y en Guanacaste de un 58,00% (Darner Mora & Portuguese, 2019), con lo cual se identifican oportunidades de mejora en la calidad de la prestación del servicio.

Por otra parte, Costa Rica se encuentra expuesta a fenómenos naturales de origen geológico y asociados al clima. El 63,10% de los desastres corresponden a eventos hidrometeorológicos (sistemas de baja presión, vaguadas, frentes fríos, huracanes y tormentas tropicales). Además, 25,00% son deslizamientos, 7,50% corresponde a vendavales, 1,50% a períodos secos prolongados, 0,35% a marejadas, 2,34% a sismos y el 0,21% a la actividad volcánica (Brenes, 2016).

El sector de agua y saneamiento trabaja para incorporar en sus planes de gestión la temática de las emergencias y los desastres, ya que, tal como se mencionó, en Costa Rica la incidencia de fenómenos naturales es recurrente y afecta de manera directa la prestación de servicios de agua potable (OPS, 2013).

En los países de menor desarrollo, la atención de los desastres se ha enfocado en la reconstrucción de la infraestructura afectada en los mismos sitios y con las mismas condiciones previas al desastre. A esto se le conoce como reconstrucción de la vulnerabilidad de la infraestructura afectada (Slan, Fallas, & Vindas, 2012).

En el caso de Costa Rica, a pesar de ser un país de renta media, hay un crecimiento significativo de la brecha entre quienes se encuentran insertos en sectores dinámicos de la economía y las personas que se encuentran insertas en sectores de baja productividad, entre la zona central del país y las aledañas. Por esta razón, en las comunidades rurales se presentan desigualdades a nivel multidimensional que ante condiciones extremas producen una afectación social y económica considerablemente mayor respecto a la de la zona urbana del país (Arias Ramírez & Sánchez Hernández, 2010; León Espinoza & Mata Marín, 2017).

Como ejemplo se presenta a la ASADA de Cuajiniquil de La Cruz de Guanacaste, ubicada en la zona rural del país. Esta fue afectada por la Tormenta Tropical Nate en octubre del 2017, que causó la pérdida de 3 kilómetros de tubería, la destrucción de múltiples pasos elevados por la crecida del río, entre otros.

A pesar de que el papel realizado por los habitantes de Cuajiniquil fue destacable porque en pocos días se pudo restablecer al menos la mitad de los servicios, se evidenció la necesidad de incluir un enfoque resiliente; pues, en ese momento, como se describió con anterioridad, se reconstruyó la vulnerabilidad del sistema y ante otra inundación o evento similar se van a presentar las mismas afectaciones.

En diciembre de 2018, la Contraloría General de la República emitió un decreto con el código DFOE-AE-IF-00015-2018, el cual da el siguiente mandato: “Se dispone a la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) y el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), en coordinación con Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Ministerio de Vivienda y Asentamiento Humanos (MIVAH) a la incorporación de medidas de resiliencia en el ciclo de vida de la infraestructura pública. Además, revisar y ajustar la reglamentación técnica aplicable a proyectos de reconstrucción de obra, para que asegure la implementación de medidas de gestión de riesgo en el ciclo de vida de las obras.”

Es importante destacar que en este proyecto, además de tomar en cuenta las nuevas disposiciones gubernamentales, se está atendiendo al mandato de la ONU de proporcionar a toda la población un acceso económico al agua potable y el saneamiento. Asimismo, se cumple con la Agenda 2030 y se vela específicamente por los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): salud y bienestar, igualdad de género, acción por el clima, vida de los ecosistemas terrestres y, por último, agua limpia y saneamiento (Naciones Unidas, 2016).

Este estudio permitió realizar un diagnóstico de la situación actual del acueducto. Gran parte del trabajo se basó en levantamientos topográficos y visitas de campo del sistema actual. Además, se utilizarán sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de dibujo (AutoCAD principalmente) para sistematizar la información con el fin de presentar los insumos necesarios para una segunda etapa de

modelación hidráulica, la cual será ejecutada por funcionarios del AyA, puesto que se encuentra fuera de los alcances del proyecto.

También, se hará un análisis de riesgos que se va a aplicar en los elementos de mayor vulnerabilidad de la red con el fin de presentar propuestas de infraestructura resiliente que se ajustarán a las necesidades de la ASADA. Por último, se realizará una comparación de costos de implementación de infraestructura resiliente y reconstrucción convencional del sistema.

De manera especial, agradezco el apoyo incondicional de mi familia y amigos, principalmente el de mis padres Víctor Morales y Elizabeth López, así como el de mi abuela Cristina Hidalgo, quienes me han apoyado en todas las decisiones que he tomado. También, le doy las gracias a mis hermanos Antonieta, Catalina, Randall y a mis amigos, por estar y acompañarme siempre.

A los miembros de la ASADA de Cuajiniquil: Doña Victoria, Doña Ana, Don Raúl, Don Carlos y Olger, por siempre estar con la mejor actitud para ayudar y por enseñarme tanto.

A los profesores de la Escuela de Construcción, Ingenieros Braulio Umaña y Maikel Méndez, les agradezco por su guía, acompañamiento y los consejos durante la elaboración del proyecto.

No podría estar más agradecida por la oportunidad brindada por parte del PNUD, por la orientación y la confianza brindada durante todo el proceso por parte de la Ingeniera Natalia Meza, el Ingeniero Alejandro Campos y Gerardo Quirós, que indiscutiblemente han sido una bendición durante estos meses de pasantía. Además, a los profesionales de otras instituciones como el geólogo Blas Sánchez del CNE, el Ingeniero Mario Chavarría del AyA, funcionarios y funcionarias de la ORAC de Región Chorotega y del CFIA, que estuvieron apoyando durante el proceso.

Resumen ejecutivo

En Costa Rica, las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales (ASADAS) proporcionan servicios de agua potable y saneamiento al 30,11 % de la población en zonas suburbanas y comunidades rurales. Estas trabajan junto con el AyA, Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), Municipalidades y Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAARs) (AyA, 2018a).

Este proyecto se enfocará en la gestión comunitaria del agua y específicamente en las ASADAS, ya que ante escenarios de Cambio Climático presentan alta vulnerabilidad. Como caso de estudio se encuentra el acueducto de Cuajiniquil de La Cruz, el cual sufrió grandes afectaciones producto de la Tormenta Tropical Nate en el 2017. Esto se debió a que los ríos crecieron significativamente durante el fenómeno, lo cual provocó socavación, puentes destruidos, desacoplado de tuberías, así como muchas otras tuberías rotas; además, la comunidad no tenía electricidad y por eso los pozos no estaban en funcionamiento.

Es común que la infraestructura de las ASADAS esté obsoleta y sobrecargada, lo cual genera ineficiencias en los servicios y se dificulta el cobro de tarifas. Como consecuencia, también se limita la operación de ellas debido a la incertidumbre financiera, tanto para planificar como para implementar mejoras específicas y nuevas inversiones.

A partir de la recopilación de información realizada sobre el Acueducto de Cuajiniquil, se lograron elaborar diagramas generales con información referente a las características de las tuberías como: el material, diámetro, cédula (SDR) y longitud de las tuberías, así como los elementos principales del sistema con sus respectivas características y elevaciones. El tener bases de datos, diagramas y un informe de diagnóstico que

explique la situación más actualizada del acueducto y las situaciones por las que ha pasado este, permitirá que la memoria histórica del acueducto de Cuajiniquil no se pierda. Además, esto promoverá transmitir la información a las nuevas generaciones sin perder continuidad y excelencia en la gestión que realizan.

Durante el levantamiento topográfico, se realizó una inspección visual de la condición de los elementos del sistema y se georreferenciaron todos los puntos. Posteriormente, fueron incorporados a un mapa del acueducto mediante la herramienta QGis que es uno de los programas de acceso libre de los sistemas de información geográfica.

Se realizó un balance hidráulico mediante el cual se determinó el consumo promedio por vivienda que corresponde a 28,04 m³ para un total de población abastecida de la comunidad de Cuajiniquil que consta de 2558,00 habitantes, con un total de 608 servicios registrados. La dotación es en promedio de 218,35 L/p/d y la producción de las fuentes se determinó mediante aforos. Para el caso de los pozos, se utilizó únicamente un total de 19 horas de funcionamiento de la bomba para calcular el volumen que ingresa al sistema. Se obtuvieron los siguientes datos de caudales para las Captaciones 1, 2, 4, 5, 6 y Pozos, 1, 2, 3 y 5, respectivamente en l/s: 0,68, 1,23, 0,74, 1,30, 0,75, 4,87, 1,07, 2,25, 5,14 y 16,96.

El porcentaje de agua no contabilizada, determinado mediante un balance del agua a partir de la metodología AWWA, corresponde a un 56,00%. Posteriormente, se calcularon los caudales de diseño a partir de la población, dotación y el IANC; el caudal máximo diario (QMD) se utilizó como el valor que corresponde a comparar con la demanda de la comunidad con el fin de determinar el Balance Hidráulico. A partir de la resta del QMD y de la demanda se determinó

que la ASADA con 2,29 L/s de BH cuenta con capacidad hídrica para nuevos servicios.

Según el volumen de almacenamiento requerido, determinado a partir de la suma del volumen de reserva por interrupciones, el volumen para incendios y el volumen por regulación de consumo, se determina que el volumen dado por el sistema (200 m³) no cumple con las necesidades actuales de 282,32 m³.

También, a partir de la herramienta del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH), se analizaron los resultados de laboratorio N1 efectuados en distintos puntos del acueducto y se verificó que el agua es apta para el consumo humano; sin embargo, es susceptible al deterioro por calidad. Por esto, se debe implementar un control de calidad; es decir, según la frecuencia recomendada, se deben realizar los demás niveles (N2, N3 y N4) de los análisis.

Seguidamente, se identificó el nivel de riesgo por medio de los siguientes tres pasos. Primero, una consulta explícita a miembros de la comunidad sobre las amenazas de origen natural que han sufrido históricamente. Segundo, una visita al sitio con el fin de georreferenciar los puntos y polígonos considerados como zonas vulnerables. Tercero, una segunda visita junto con el geólogo Blas Enrique Sánchez de la Unidad de Investigación y Análisis de Riesgo de la CNE.

A partir del ejercicio de consulta, se identificaron las principales amenazas de la comunidad: lluvias excesivas en invierno y sus fenómenos asociados como las inundaciones y deslizamientos debido a la sobresaturación del suelo, así como períodos secos prolongados. La región no se encuentra en una zona volcánica y a pesar de que todo el país se encuentra en una zona de riesgo con respecto a la variable sísmica, Cuajiniquil no es una comunidad con alta vulnerabilidad con respecto a esta variable.

Como se mencionaba anteriormente, el mejor ejemplo es la Tormenta Nate, ya que es el caso más crítico y reciente ocurrido en la comunidad. Por otra parte, al ser una zona cuya actividad productiva principal es la pesca, la agricultura no se da de forma expansiva por lo que la contaminación de los acuíferos por agroquímicos no constituye una amenaza. Sin embargo, se le debe prestar atención al fenómeno

de salinización; pues, los pozos son profundos y se encuentran cerca del nivel del mar.

La incidencia del CC es más visible durante los períodos secos prolongados en donde la producción de agua disminuye, por lo que se debe planificar con anticipación el almacenamiento de agua de reserva.

Por su parte, la prevención en épocas lluviosas no solo implica tomar en cuenta el proceso post desastre, sino que se debe hacer desde la construcción de la infraestructura considerando el historial climático y ambiental de la zona.

A partir de la información recopilada en sitio y el informe de la CNE, se identificaron e implementaron medidas a largo plazo. Esto con el fin de realizar en las obras existentes una propuesta de protección, reforzamiento o reubicación, si así lo ameritan para reducir la exposición.

Con el fin de seleccionar la opción más viable desde la perspectiva económica, se determinó que la opción adecuada consiste en la construcción de puentes elevados en seis puntos y tubería enterrada en los dos tramos más cortos. Por esto, se calculó el costo de los dos tipos de puentes elevados para tubería de agua potable que comúnmente se construyen en el AyA: el puente tubo y el puente colgante.

Se determinó que el costo de un puente colgante es de ₡5 576 308,93 y del puente tipo de tubo de ₡6 868 115,86. Por lo tanto, la opción más económica es el puente tipo colgante, razón por la cual se selecciona como diseño para los 6 puntos críticos analizados del acueducto de Cuajiniquil siendo la inversión total de ₡33 457 853,59.

Según lo planteado en un artículo de la Universidad de Costa Rica respecto a las debilidades estructurales que deja en descubierto la tormenta Nate, los efectos de los desastres tocan directamente las bases de las finanzas públicas. En casos de emergencia, se destinan fondos para la rehabilitación y reconstrucción de esta forma deteniendo su crecimiento económico real; pues, se sacrifican proyectos de desarrollo previamente planteados a corto y mediano plazo para mejorar las condiciones de la comunidad en general.

Abreviaturas

ASADAS	Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ALC	América Latina y el Caribe
AWWA	American Water Works Association
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BH	Balance Hidráulico
CC	Cambio Climático
CNE	Comisión Nacional de Emergencia
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
GAM	Gran Área Metropolitana
GRD	Gestión de riesgo a desastres
GWP	Global Water Partnership
IANC	Índice de Agua no Contabilizada
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INDER	Instituto de Desarrollo Rural
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
IRCACH	Índice de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano
IWA	International Water Association
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MIVAH	Ministerio de Vivienda y Asentamiento Humanos
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transporte
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ORAC	Oficina Regional de Acueductos Comunes
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PRACOR	Programa de Construcción de Acueductos para las Comunidades Rurales
RANC-EE	Reducción de Agua no Contabilizada y Eficiencia Energética
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SNAA	Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillado

Nota: Se usarán (,) como separador de decimales y espacios como separador de miles.

Introducción

El suministro de agua potable o electricidad, la disposición y el tratamiento de aguas servidas, la movilización de personas, además de las tecnologías de información y comunicación, son un eje transversal en materia de desarrollo económico, competitividad y crecimiento inclusivo en América Latina y el Caribe (ALC) (Serebrisky, Suárez, Margot & Ramírez, 2015; Serebrisky, 2013).

ALC es una de las regiones más vulnerables a los impactos de un clima cambiante. Esto a su vez se proyecta en pérdidas económicas en infraestructura que el Cambio Climático (CC) podría generar; para el 2050, se prevé que sumaría un total de US\$100 000 000 por año (BID e IDB invest, 2018). Considerar el riesgo a desastres y los escenarios de CC en el diseño y la construcción de proyectos es importante para aumentar su resiliencia (BID, 2019).

Costa Rica se encuentra en un borde entre tres placas tectónicas y está expuesta a influencias atmosféricas y oceánicas. También, tiene una geomorfología diversa representada en una red hidrográfica que atraviesa ciudades y poblados con importante cantidad de habitantes. Aunado a esto, posee sistemas montañosos, remontados en algunos casos por una actividad urbanística en expansión. Por esas razones, además de otras de tipo socio ambiental, se debe avanzar hacia gestión de riesgo a desastres de forma integral. (Córdoba, Castillo, & Román, 2016).

A partir de la síntesis de la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) del año 2017 sobre amenazas naturales de Costa Rica, se tienen datos que confirman los escenarios multi amenaza a los que el país se encuentra expuesto. El CC ha sido manifestado en cambios paulatinos que han ocurrido principalmente en variables como la temperatura y la precipitación (Murillo, 2017).

Por este motivo, se introduce una variabilidad climática que aumenta la incertidumbre en el

análisis de ocurrencia de eventos extremos y en la descripción de fenómenos climáticos en general (Parry et al., 2007). Su afectación directa llegó a distintos sectores del país. En el caso sector del recurso hídrico, este se ve especialmente vulnerable, pues, se enfrenta a la ocurrencia periódica de aumentos o disminuciones en la cantidad e intensidad de las precipitaciones.

Como ejemplos están el huracán Otto en el 2016 y la tormenta Nate en el 2017. Estos eventos causaron grave destrucción en amplias zonas del país, con lo cual se inhabilitó infraestructura de comunicaciones, vivienda y múltiples servicios públicos, debido al desbordamiento de ríos, inundaciones, deslizamientos y avalanchas, entre otros (CNE, 2017).

También, puede hacerse referencia al pronóstico de la CNE en agosto del 2018, el cual especifica que el país va a estar bajo la influencia del fenómeno de El Niño. Esto ocasionará un déficit hídrico y sequía en la vertiente del Pacífico y Valle Central durante el 2019 (CNE, 2018).

Costa Rica es uno de los países de Centro América que tiene un mayor capital hídrico con 23 751,00 m³ per cápita (International Bank for Reconstruction and Development, 2017). A finales del año 2018, Costa Rica contaba con una población total de 5 003 402 habitantes, de los cuales el 96,80% recibió agua de alguno de los entes operadores oficiales, a saber, AyA, ESPH, Municipalidades y ASADAS. En el área nacional, un 67,00% de la cobertura le corresponde a la zona urbana y un 33,00% a la zona rural (Mora & Portuguese, 2019).

A pesar de tener porcentajes de cobertura positivos, el contexto en materia de la gestión del agua es complejo; pues, muchas comunidades se enfrentan a escenarios de escasez de agua durante el verano y exceso durante el invierno.

Tal como se mencionó, en el país, la cobertura de agua potable se da mediante los servicios que prestan las 29 municipalidades autorizadas, la Empresa de Servicios Públicos de

Heredia (ESPH), las 1459,00 Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADAS), así como el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (Cobos et al., 2017).

Dentro de las organizaciones más perjudicadas ante el escenario planteado se encuentran las ASADAS. Estas asociaciones que proporcionan en Costa Rica servicios de agua potable y saneamiento al 30,11 % de la población en zonas suburbanas y comunidades rurales (AyA, 2018a). Además, la mayoría de ASADAS requieren desarrollar las habilidades necesarias y tener acceso a conocimientos, herramientas e inversión adecuada, con el fin de hacerle frente al CC.

Como caso de estudio, se encuentra el acueducto de Cuajiniquil de La Cruz, el cual sufrió grandes afectaciones producto de la Tormenta Tropical Nate. Como referencia a la magnitud del evento, consta lo descrito en el informe de diagnóstico post-Nate emitido por la Oficinas Regionales de Acueductos Comunes (ORAC) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) sobre la visita realizada el 10 de octubre del 2017. A partir del miércoles 04 de octubre, todos los habitantes de la zona no tenían agua potable en sus viviendas.

Lo anterior se debió a que los ríos crecieron significativamente durante la tormenta tropical, lo cual generó socavación, puentes destruidos, desacoplado de tuberías, así como muchas otras tuberías rotas. Además, la comunidad no tenía electricidad, por lo cual los pozos no estaban en funcionamiento.

En casos de emergencia, posterior al rescate de los habitantes de la comunidad, procede una rehabilitación provisional de los servicios esenciales del poblado. Por esto, el papel que tuvieron los habitantes de Cuajiniquil fue destacable en la medida de que en pocos días se pudo restablecer al menos la mitad de los servicios. Sin embargo, las reparaciones de emergencia o provisionales no deben ser permanentes; pues, se reconstruye la vulnerabilidad de la infraestructura y ante otro evento extremo se volverá a pasar por la misma crisis.

Según lo determinado en visitas previas el Acueducto de La Cruz, este presenta dos situaciones importantes por resolver. Primero, la reconstrucción permanente de los puntos afectados por Nate con el fin de que la

infraestructura sea resiliente a un futuro evento climático extremo. Segundo, debido a que la producción de agua en el verano es limitada, se debe diagnosticar la situación actual del acueducto para evitar escenarios de desabastecimiento.

Además, en el informe de la Ing. Paola Jiménez de la ORAC al 30 de enero de 2017, se logran identificar las siguientes situaciones que representan una amenaza para el acueducto:

a) Diámetros de tuberías menores a las 4 pulgadas mínimas establecidas en la normativa técnica del AyA, para utilizar como líneas de distribución y para colocación de hidrantes.

b) La red de tuberías de distribución se encuentra expuesta en distintas partes del sistema.

c) El acueducto cuenta con micromedición, pero no tiene macromedición.

d) Se requiere mejorar el servicio del Sector Carretera, ya que al estar inhabilitado el pozo y tanque de dicho sector el agua que se está usando para toda la comunidad es la del Sector Cuajiniquil y hay casas con problemas de baja presión.

e) Por la afluencia de turistas, la demanda de agua para la época de vacaciones es mayor que la producción de las fuentes.

Es común que la infraestructura de las ASADAS esté obsoleta y sobrecargada, generando ineficiencias en los servicios. Esto a su vez dificulta el cobro de tarifas y, en consecuencia, limita la operación de ellas debido a la incertidumbre financiera, tanto para planificar como para implementar mejoras específicas y nuevas inversiones.

Los estudios que se han realizado para las ASADAS no cuentan con una estandarización de información, por lo cual, los funcionarios de las asociaciones no tienen conciencia del conocimiento de los requerimientos mínimos de un estudio técnico. Este es un documento mediante el cual las ASADAS pueden tener un diagnóstico de su sistema, conocer las necesidades de mejora actuales y futuras. Además, pueden tomarlo como base para generar proyectos exitosos relacionado a infraestructura.

Por este motivo, a nivel institucional (AyA) surgió la necesidad de desarrollar una guía denominada: "Guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura en ASADAS". En esta, se plantean de forma clara los pasos a seguir para la elaboración de estudios técnicos. Al cumplir

correctamente con los pasos de la guía se podrá generar un documento mediante el cual los miembros de una ASADA podrán determinar las necesidades de mejora de su acueducto y plantear proyectos exitosos a corto o mediano plazo.

Desde esa perspectiva, surge el programa de “Fortalecimiento de ASADAS para enfrentar los Riesgos del CC en comunidades con estrés hídrico al Norte de Costa Rica”, el cual desarrolla prácticas sostenibles e implementa además medidas de adaptación basadas en los ecosistemas de la región. El proyecto de fortalecimiento se suma a ser parte del equipo como co-autores de la guía de infraestructura por lo que le incorpora un enfoque de resiliencia y CC desde una perspectiva de Gestión del Riesgo.

Dentro de los múltiples ejes que abarca el programa de Fortalecimiento de ASADAS se han elaborado herramientas e impartido capacitaciones a las ASADAS. Por ejemplo: hojas de cálculo en Excel de balance hidráulico y de agua no contabilizada. Asimismo, se han impartido múltiples talleres de formulación de proyectos, elaboración de cloradores, calidad de agua, medición de presión, instalación de tanques. También, está en elaboración una guía de gestión integral del riesgo, entre otros.

Todos los esfuerzos tienen un enfoque de fortalecimiento de las capacidades de las Juntas Directivas, personal técnico y administrativo de la ASADAS. Además, se tiene como eje transversal la incorporación de la gestión de riesgos en la planificación y operación de sus sistemas con el fin de aumentar su capacidad de adaptación y resiliencia.

Lo anterior se realiza desde tres áreas principales. Primero, la mejora la infraestructura de las asociaciones de acueductos rurales. La segunda consiste en el uso de información hidrometeorológica, planes de gestión de agua y saneamiento, entre otros, con el fin de adaptar a las ASADAS al CC. Por último, se cuenta con un eje de incidencia en la generación de políticas y

estrategias para incentivar la búsqueda de financiamiento.

En consecuencia, se realizará un diagnóstico detallado del acueducto a partir de lo recomendado en la: “Guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura en ASADAS” en desarrollo. Se utilizarán las herramientas generadas por el PNUD-AyA para el balance hidráulico y se analizarán propuestas de infraestructura resiliente desde una perspectiva de gestión del riesgo.

Objetivos

Objetivo general

Analizar y aplicar la guía de elaboración de proyectos de infraestructura para acueductos comunales del PNUD-AyA con enfoque de diseño resiliente ante eventos climáticos extremos. Caso de estudio: ASADA de Cuajiniquil de La Cruz, en Guanacaste.

Objetivos específicos

- Generar un diagnóstico de la información de partida y de los requerimientos de la ASADA Cuajiniquil de La Cruz.
- Determinar la capacidad hídrica e hidráulica de ASADA Cuajiniquil de La Cruz.
- Analizar la calidad de agua del sitio en estudio.
- Determinar el riesgo basado en la estimación visual, realizada mediante la visita al sitio y la revisión de antecedentes.
- Realizar un estudio de costos de inversión de la implementación de infraestructura resiliente.

Marco conceptual

Gestión comunitaria del agua

Reseña histórica

En nuestro país, los primeros asentamientos humanos se remontan al siglo XVI, los cuales por subsistencia se ubicaban cerca de fuentes de abastecimiento de agua. Durante los siguientes siglos, se dan procesos de construcción de infraestructura y organización comunitaria e institucional en torno al abastecimiento de agua a las poblaciones. Sobresale la Junta Acuaria creada en 1839 para atender asuntos del acueducto de San José (AyA, 2015).

Más adelante, en 1942, se promulga una nueva Ley de Aguas y en 1965 se fundó como primer ente de gestión comunitaria del agua el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillado (SNAA) (AyA, 2015). El SNAA ya transformado en Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) entra a formar parte de un programa más amplio denominado “Programa de Salud para las Comunidades Rurales”, antecedente del “Programa de Construcción de Acueductos para las Comunidades Rurales” (PRACOR) (AyA, CRUSA, & PNUD, 2017).

Según recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se promueve un involucramiento comunal en el que las comunidades mismas asumen tanto la construcción como la posterior operación del sistema, además de la administración de la prestación del servicio de agua en forma local. En diciembre de 2000, se promulgó el Reglamento de las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS), que establece una serie de normas para favorecer y fortalecer la delegación de la administración, operación, mantenimiento y desarrollo de los sistemas en las ASADAS, financiando su funcionamiento con los recursos provenientes de

las tarifas autorizadas por la ARESEP (AyA et al., 2017).

Es evidente que las ASADAS son un ejemplo de participación ciudadana. Los beneficios del abastecimiento de agua son innegables y es uno de los frentes más importantes con que cuenta el Estado costarricense en la lucha contra la pobreza.

La relación dada entre estas instancias es de sujeción especial. Jurídicamente, se define como “delegación” y se caracteriza por que mediante un “Convenio de Delegación” se legitima a la ASADA a administrar los servicios de titularidad del AyA (AyA, 2007).

Las ASADAS como entidad jurídica son figuras independientes y están constituidas a la luz de la Ley de Asociaciones N° 218 de 1939. Debe resaltarse que además existe una regulación especial a través de un reglamento de ASADAS del año 2005 (Decreto Ejecutivo N° 32 529-MINAET). Este reglamento otorga potestades importantes al AyA, el cual puede asumir de pleno derecho la administración y operación de los acueductos comunales (incluso todo su patrimonio), cuando estos no presten el servicio adecuadamente, sin hacer distinción (Ballester, 2009).

Asimismo, el reglamento define que las ASADAS no pueden solicitar directamente la concesión de aguas al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), si no es a través del AyA. Lo mismo sucede con la inscripción de estas en el Registro de Asociaciones del Registro Público, la cual debe contar con el visto bueno del AyA (Ballester, 2009).

Retos en la actualidad

Las ASADAS están presentes en todo el país. A pesar de que los datos del AyA son poco consistentes en cuanto al número de ASADAS, según el último informe de gestión del 2018, la cifra total a nivel nacional es de 1 415 ASADAS.

La mayoría de ellas se ubica en la región Chorotega. Esta cuenta con el mayor número de Acueductos Comunales con un total de 317 (25%), seguido de las 286 (20%) de la Gran Área Metropolitana (GAM), tal como se muestra en el Cuadro 1 (AyA, 2018a).

Cuadro 1. Distribución de ASADAS por regiones		
ORAC	Cantidad de ASADAS	Distribución (%)
Chorotega	317	25,00
Metropolitana	286	20,00
Central Este	175	12,00
Brunca	183	13,00
Huetar Norte	198	14,00
Huetar Caribe	108	7,00
Pacífico Central	148	10,00
Total	1 415	100,00

Con respecto a la población abastecida con agua potable gracias al servicio brindado por las ASADAS, corresponde a 1 344 399 habitantes. De acuerdo con este dato, el porcentaje de cobertura aumentó de un 82,40% en el 2014 a un 85,10% en el 2017 (Darner Mora & Portugal, 2019).

Sin embargo, estos operadores comunales de servicio de agua potable y saneamiento enfrentan grandes desafíos para operar de manera sostenible, con la calidad y eficiencia requerida. Para esto, el AyA desarrolla acciones que permitan, a partir de una serie de oportunidades identificadas, mejorar la prestación de servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento brindados mediante el modelo de gestión de las ASADAS. Sobre este particular, se anotan como principales problemas/retos de las ASADAS, y por ende del sector rural de agua potable (AyA et al., 2017), las siguientes:

- El AyA aún no cuenta con información actualizada y dinámica sobre la efectividad de la operación de las ASADAS en la zona de intervención.
- En la construcción de infraestructura, un defecto común entre muchas ASADAS es que no generan planificación integral de mediano y largo plazo.

- Existe poca macro y micromedición de los sistemas de agua potable que permitan controlar fugas y disminuir el agua no contabilizada.
- No han logrado solidez financiera, debido a que algunas ASADAS todavía no cobran las tarifas aplicadas por ARESEP y principalmente a que hay operadores de servicio de agua potable que son pequeños y poco sostenibles. Por esta razón, el AyA le está apostando a la política de integración de las ASADAS menores a los 100 servicios.
- No tienen vínculos estables con instituciones de educación universitaria o técnica que permitan desarrollar programas de educación y formación en los niveles técnico y profesional.
- La falta de atención de los efectos provocados por fenómenos climáticos extremos a los que el país se ha visto expuesto en los últimos años como: el fenómeno del Niño, huracanes y tormentas tropicales. Se debe mejorar la coordinación con la CNE con el fin de mejorar la gestión del riesgo en los acueductos y evitar que el costo de intervención post-desastre se incremente con los años (AyA, 2017).

Infraestructura de un acueducto

En todo acueducto comunal, de manera general, se deben presentar los elementos que se muestran la Figura 1.

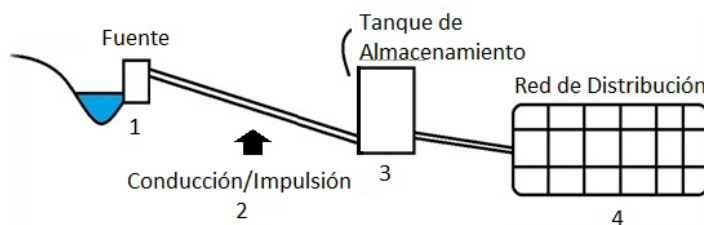


Figura 1. Esquema general de un acueducto comunal

A partir del esquema anterior, la descripción de cada uno de los elementos se detalla a continuación (AyA, 2017; OPS, 2004).

1. Fuentes de abastecimiento.

- 1.1. Superficiales: Este tipo de fuente incluye ríos, quebradas, lagos, lagunas y embalses y excepcionalmente agua salina y agua salobre.
- 1.2. Subterráneas: Este tipo de fuente incluye manantiales y acuíferos. La explotación de las aguas subterráneas puede realizarse principalmente mediante pozos profundos o excavados.

2. Línea de conducción e impulsión

- 2.1. Línea de Conducción: En un sistema por gravedad, es la tubería que transporta el agua desde el punto de captación hasta el tanque de almacenamiento.
- 2.2. Línea de Impulsión: En un sistema por bombeo, es el tramo de tubería que conduce el agua desde el pozo hasta el tanque de almacenamiento.

3. Tanque de almacenamiento: Es la instalación destinada como reservorio de agua para mantener el abastecimiento normal durante el día. En la mayoría de los acueductos comunales, acá mismo se realiza el proceso de cloración del agua.

4. Red de distribución: Es el conjunto de tuberías que se utilizan para transportar el agua potable desde los puntos de almacenamiento y tratamiento, hasta cada uno de los servicios distribuidos en toda la comunidad.

Es vital recordar la importancia de las diferencias de altura entre los elementos del sistema para el cumplimiento de velocidades y presiones según lo reglamentado. Por ejemplo, entre el tanque y cada uno de los servicios se debe verificar la altimetría; pues, esto va a asegurar que el agua llegue con la presión mínima establecida por la normativa técnica de AyA de 15 metros columna de agua (mca) o que no exceda la presión estática máxima de 50 mca en el punto más bajo de la red.

Consideraciones como estas son parte de las implicaciones que se deben tomar en cuenta al construir, gestionar y mantener un acueducto para

que permanezca en buen funcionamiento; además, son razones por las cuales un levantamiento topográfico es de los primeros pasos por realizar en cualquier análisis de un sistema de abastecimiento de agua potable.

Levantamiento topográfico

Según Franquet & Gómez (2010), un levantamiento topográfico se define como : “El conjunto de operaciones ejecutadas sobre un terreno con los instrumentos adecuados para poder confeccionar una correcta representación gráfica o plano. Este plano resulta esencial para situar correctamente cualquier obra que se desee llevar a cabo, así como para elaborar cualquier proyecto técnico. Si se desea conocer la posición de puntos en el área de interés, es necesario determinar su ubicación mediante tres coordenadas que son latitud, longitud y elevación o cota.”

Existen dos modalidades de levantamientos: la planimetría (proyecciones sobre el plano de comparación) y la altimetría (alturas respecto al plano de comparación) (Franquet & Gomez, 2010). Con respecto a los métodos de levantamiento, se destacan el estático, estático rápido, cinemático, pseudo cinemático o reocupación y de tiempo real. Tal y como se muestra en el Cuadro 2 , cada uno de los métodos presenta sus tiempos de observación, ventajas, limitaciones, aplicaciones y precisiones las cuales tienen una relación directamente proporcional con el tiempo de observación: a más tiempo, mayor precisión.

Cuadro 2. Métodos de levantamiento topográfico					
Modo	Estático	Estático rápido	Cinemático	Seudo cinemático	Tiempo Real
Tiempo de observación	A partir de una hora	5-15 min	1-5 min	15 segundos – 1 min	Observación instantánea
Ventajas	Sencilla y exacta	Más rápida que la estática	Tiempo muy corto	Se utilizan únicamente 4 satélites	Post Procesamiento no es necesario
Limitaciones	Técnica lenta	Para distancias cortas (5 a 10 km)	No se debe interrumpir la señal durante el levantamiento	Se debe observar cada punto una segunda vez con un intervalo de al menos 1 hora	Técnica poco exacta (varios cm)
Aplicaciones	Geodesia pura	Levantamiento de detalles			Levantamiento de detalles y replanteo
Precisión (radio de 20 km)	± 2 cm	± 5 cm			± 6cm

Fuente: (Froment, n.d.)

GNSS

El GNSS (por sus siglas en inglés *Global Navigation Satellite System*) es denominado en español como el Sistema Satelital de Navegación Global. Este al ser implementado por la Organización de Aviación Civil Internacional, da información sobre la posición y la hora, de manera continua durante 24 horas y bajo cualquier condición climatológica. A nivel mundial tiene funciones de posicionamiento; por ejemplo, incluye: constelaciones de satélites, receptores de aeronave, supervisor de integridad del sistema, y sistemas de aumento que mejoran la actuación de las constelaciones centrales (Dow, Neilan, & Rizos, 2009).

En resumen, el GNSS es un término general que comprende a todas las redes de navegación satelital. Por un lado, incluye los ya implementados como: el Sistema de Posicionamiento Global de los Estados Unidos (GPS) y el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite de la federación rusa (GLONASS). Por otro lado, incorpora a los que se encuentran en desarrollo por la Unión Europea, denominado Galileo. También, existen otros sistemas que no son del todo reconocidos como parte del GNSS tales como: Beidou de China,

QZSS de Japón y el IRNSS de India (Lemmens, 2014).

Existen diversas clasificaciones de los procedimientos de observación del GNSS; sin embargo, una muy pedagógica y completa es la siguiente (Hoyer, 2002).

De acuerdo con la naturaleza de la medición:

- Absoluta: Un solo equipo que no se comunica o recibe correcciones de otro equipo o fuente diferente a los satélites.
- Relativa: Dos o más equipos que se comunican o intercambian información.

De acuerdo con la obtención de resultados:

- Post-procesado: Si el resultado se obtiene algún tiempo después, generalmente en oficina después de un procesamiento.
- Tiempo real: Si el resultado final deseado se obtiene en el mismo instante de la medición.

De acuerdo con la movilidad del equipo (o equipos):

- Estático.
- Estático rápido.
- Cinemático.
- Variantes, por ejemplo “stop and go”

Cualquier medición GNSS debe poder ubicarse en todos los grupos anteriores; es decir, ser absoluta o relativa, post-procesada o en tiempo real y estática, cinemática u otra variante en relación con el equipo (Hoyer, 2002).

Sistema de Información Geográfica (SIG)

En los últimos años, se ha generalizado la utilización del término Sistemas de Información Geográfica (SIG) como denominación de bases de datos que contienen información espacial. Una definición reconocida de Burrough and McDonnell (1998) define a un SIG como “...un conjunto poderoso de herramientas para recopilar, almacenar, recuperar a voluntad, transformar y mostrar datos espaciales del mundo real para un conjunto particular de propósitos” (p.11, 1998).

El primer SIG se diseñó en Canadá en el año 1962 y estaba destinado al mantenimiento de un inventario de recursos naturales a escala nacional. Para el análisis de infraestructura, las plataformas SIG se han convertido en herramientas clave para la interpretación de sistemas en los cuales se pueden ubicar puntos, líneas o polígonos, con su respectiva información no espacial almacenada en una tabla y vinculada a una entidad específica a dicha información (Tomlinson, 1990).

En la actualidad, existen múltiples opciones de *software* tanto libre como con licencias que se pueden utilizar para el análisis espacial: ArcGIS, QGIS, qvSIG, GRASS GIS, SAGA GIS, OpenJUMP, entre otros.

Sistema de Coordenadas

En el año 2007m mediante el Decreto Ejecutivo 33797-MJMOPT (Costa Rica, 2007), se establece

el nuevo Sistema de Referencia CR05 y la Proyección Cartográfica CRTM05; además, se ordena a las instituciones públicas adoptarlo en un periodo máximo de 9 años.

Anteriormente, se utilizaba el sistema de coordenadas Lambert Confórmico Cónico (CRLN), que utiliza el esferoide Clarke de 1866 y el datum Fundamental de Ocotepeque de 1935 (Mugnier, 2015). Por otra parte, estaban las proyecciones CRTM90 y CRTM98 (que no fueron oficializadas por el Instituto Geográfico Nacional), impulsadas por un esfuerzo del Catastro Nacional por definir un sistema de referencia que facilitara los levantamientos catastrales y que cubriera de forma continua al país con sus dos proyecciones: Lambert Norte y Lambert Sur (Ramírez Núñez & Valverde Calderón, 2015).

El cambio en el sistema de coordenadas oficial del país tiene implicaciones técnicas y prácticas; pues, se generó una metodología sencilla que toma en cuenta las escalas y exactitudes requeridas para mantener la calidad de la información, considerando que gran parte de los datos geográficos que se están transformando son capas de información que alimentan sistemas SIG (Ramírez Núñez & Valverde Calderón, 2015).

Las características del sistema oficial CR05 se muestran en el siguiente Cuadro 3.

Cuadro 3. Características CRTM-05	
Parámetro	Valor
Elipsoide asociado	WGS-84
Paralelo origen	0°
Meridiano de referencia	84° W
Factor de escala en el meridiano central	0,99
Falso este del meridiano central	500 000,00 m

Fuente: (Costa Rica, 2007a)

Balance hidráulico

Según el Reglamento para la Prestación de servicios de AyA (2018), “la capacidad hídrica de un acueducto es la condición existente de factibilidad técnica y administrativa para la producción y explotación de agua potable para el abastecimiento.”

Para determinar si se cuenta o no con dicha capacidad, es preciso realizar un Balance Hidráulico (BH), es decir, calcular la diferencia entre el caudal generado en la fuente y el caudal de agua que es necesaria para la comunidad (AyA, 2018c). El procedimiento para calcular el BH se puede resumir en los siguientes tres pasos:

1. Determinar el caudal de producción en las fuentes: Aforos.
2. Calcular la demanda: Caudal de agua que requiere la comunidad.
3. Estimar el balance hidráulico: Resta de los resultados de los pasos 1 y 2.

También, como parte de los factores a tomar en consideración para el cálculo del Balance Hidráulico, se encuentran la macro y micro medición y el agua no contabilizada. Esto para calcular efectivamente la demanda.

Micro y macromedición

Micromedición

La micromedición está asociada a la facturación que hace el ente administrador para obtener recursos económicos. Por lo general, se lleva a cabo mediante la instalación de medidores y lecturas mensuales. Algunas de las funciones son (Rodríguez & Abarca, 2017):

1. El pago correcto del agua consumida, según las tarifas establecidas de acuerdo con el uso del agua.
2. Cumplimiento de la Legislación establecida por la ARESEP, la cual establece que todo servicio público deberá de medirse y se garantizará el buen funcionamiento del medidor, para el cobro justo.
3. Al contar con medición, los usuarios consumen menos agua, ya que lo ven reflejado en su facturación. Por ello, se modifican los hábitos de consumo de los abonados.
4. Entre más medición exista más ingresos va a tener la ASADA, ya que se conoce el consumo real de los servicios brindados.
5. Se pueden determinar fugas mediante el medidor.

La micromedición también obedece a una recomendación técnica de la Sala Constitucional y de la ARESEP, cuya Ley número 7593 determina que si no se cumple con las tarifas establecidas por la entidad reguladora, o bien, se presenta evasión en el pago del servicio dicho fraude, se castigará con una multa de cinco a diez veces el valor del daño causado. De la misma forma, se sancionará, según el artículo 41, la alteración de instrumentos de medición, fiscalización y conteo.

Asimismo, el acuerdo de la Junta Directiva del AyA número 2015-115 posee múltiples artículos en materia de micromedición; por ejemplo, los números 25, 26, 27, 69 y 70. Estos hacen referencia a las medidas que el AyA tomará ante conexiones no autorizadas o fraudulentas.

Según estadísticas elaboradas por el BID en el 2015 tomando en consideración una muestra de 58 operadores (Véase Cuadro 4) en LAC, se refleja que el grado de micromedición existente es relativamente alto; pues, en promedio un 78,90% de los usuarios cuenta con medidores, siendo un 19,00% el mínimo y un 100,00% el máximo.

Cuadro 4. Cobertura porcentual de micro medición sobre el total de conexiones

Países	Promedio (%)
Argentina	31,20
Brasil	93,30
Chile	97,90
Colombia	84,60
Costa Rica	89,00
Ecuador	99,50
Honduras	72,80
México	100,00
Panamá	54,70
Perú	58,10
Uruguay	90,00
Promedio	78,90

Fuente: (BID, 2015)

Según la Oficina Regional de Acueductos Comunes (ORAC) de la región Chorotega, al tercer trimestre del 2018 existen 219 ASADAS que cuentan con micromedición, de un total de 317. Esto corresponde a un porcentaje de 69%.

Macromedición

Corresponde a la medición de grandes caudales en un punto específico. Su objetivo principal es

medir la producción de agua en el acueducto (Rodríguez & Abarca, 2017). Sus principales funciones son las siguientes:

1. Conocer el caudal o volumen en un momento específico.
2. Crear datos necesarios para identificar pérdidas de agua como fugas y otros, por medio del ANC.
3. Saber la cantidad de agua que la ASADA está distribuyendo.
4. Registrar los caudales de las fuentes.
5. Proyectar el consumo mediante los registros históricos de caudal.
6. Conocer el comportamiento de consumo, horario, diario, semanal o mensual de los usuarios.

Es importante saber qué tipo de macromedidor se está utilizando en el acueducto. También, es preciso consultar por la selección, instalación y mantenimiento las fichas técnicas con el fin de conocer las funciones y características importantes de cada tipo de instrumento.

Según estadísticas generadas por el Programa de Fortalecimiento de ASADAS del PNUD, en la región Chorotega, de un total de 317 ASADAS, únicamente 40 poseen macromedición, lo cual corresponde únicamente a un 12,60%.

Agua no Contabilizada (ANC)

Hay una mayor consciencia en el mundo con respecto al recurso hídrico. Es de vital importancia que los funcionarios de instituciones o asociaciones que prestan servicios públicos tengan herramientas y el conocimiento para gestionar de forma responsable sus sistemas (Mckenzie & Liemberger, 2017).

En el AyA, como ente operador, hay un Programa de Reducción de Agua no Contabilizada y Eficiencia Energética (RANC-EE) que se desarrollará en sistemas administrados por el AyA en todo el país. El objetivo principal del programa es reducir consistentemente el agua no contabilizada al integrar acciones dentro de los procesos de desarrollo, operación, mantenimiento y comercialización, que garanticen inversiones y recursos para darle continuidad a largo plazo. Se proyecta poder empezar a trabajar durante 2019 en la aplicación del RANC-EE en los acueductos comunales (AyA, 2018b).

El ANC es uno de los valores más utilizados internacionalmente para determinar la eficiencia de los sistemas de abastecimiento. Este valor indica la cantidad de agua que ingresa al sistema, pero que se pierde o no es contabilizada (Rodríguez & Abarca, 2017).

Según la Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, la mayoría de los países rondan un 40% de ANC. En el caso de Latinoamérica y el Caribe, los porcentajes son aún mayores, en donde hay sectores que superan incluso el 50%. Según lo determinado por el décimo indicador de desempeño de operación del AyA, el porcentaje del Sistema Metropolitano es de 51,20% y en los sistemas periféricos ronda en un 55,56% del índice de agua no contabilizada (IANC) (AyA, 2018b).

El IWA en 1991 resume los IANC para países en desarrollo y los ubica en un rango de (25,00 – 45,00)%; en cambio, los países desarrollados se encuentran entre el 8,00 al 24,00% (Farley, 2001). De acuerdo con un estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) sobre los desafíos de los operados en Latinoamérica, el porcentaje de ANC en Costa Rica es de 51,50% (véase Cuadro 5), siendo el más alto de la región, seguido de Panamá, Uruguay y Ecuador.

Es relevante hacer la diferenciación entre los datos de ANC en el país y los que representan propiamente a las regiones rurales. El acueducto comunal en estudio se encuentra en la Región Chorotega y, según consultas realizadas a la ORAC de la región, el porcentaje utilizado de ANC en promedio es de un 30%.

Cuadro 5. Porcentajes de agua no contabilizada de América Latina y el Caribe (9 países)

Países	Promedio IANC (%)
Argentina	34,40
Brasil	37,30
Chile	35,60
Colombia	39,50
Costa Rica	51,50
Ecuador	43,30
Panamá	50,30
Perú	38,90
Uruguay	49,60
Promedio	38,30

Fuente: (BID, 2015)

Una buena gestión de cualquier recurso requiere que el ente que presta el servicio lleve un registro de todas las transacciones y entregas realizadas a sus clientes. Por esta razón, las ASADAS deben saber cuánta agua se está incorporando al sistema y cuánta es la cantidad de agua que se debería de facturar y pagar por el consumo; es decir, el agua que está consumiendo. Una buena auditoría debe dar seguimiento al flujo de agua desde el tratamiento, el sistema de distribución y hasta las propiedades del consumidor (AWWA, 2009).

De ahí la relevancia del balance hidráulico que resume los componentes del sistema y hace una contabilidad. En teoría, toda el agua que entra a la red de distribución debería ser igual a la que sale; sin embargo, se presentan pérdidas de agua que se pueden clasificar tal y como se observa en el Cuadro 6 (AWWA, 2009).

En las pérdidas reales, se contempla el estado de la red y sus acometidas. Estas son todas las pérdidas físicas causadas por roturas y

fugas del sistema de distribución. Los principales factores que provocan dichas pérdidas son: fallas en los materiales, longitud de la tubería, edad (tuberías viejas), almacenamiento inadecuado, conexiones inadecuadas donde se instala la tubería, presiones altas o muy bajas, alta densidad vehicular, ausencia de información sobre el acueducto (inexistencia de planos), válvulas y accesorios defectuosos, así como fugas en los tanques de almacenamiento o sellos defectuosos de las bombas (Rodríguez & Abarca, 2017).

Por otra parte, están las pérdidas aparentes, que corresponden a los caudales consumidos no medidos, consumos no autorizados o clandestinos. Principalmente, estas se dan porque el volumen de agua no se mide o contabiliza de manera correcta induciendo a un error principalmente por la lectura inadecuada de los medidores (Cabrera, Almandoz, Arregui & Serra, 2014).

Cuadro 6. Componentes del Balance Hidráulico en un sistema de distribución propuesto por la IWA.				
Volumen introducido al sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado facturado	Agua exportada medida	Agua Contabilizada
			Consumo medido	
		Consumo autorizado no facturado	Agua exportada no medida	Agua no Contabilizada
			Consumo medido	
	Pérdidas de agua	Pérdidas aparentes	Consumo no autorizado	
			Errores de los medidores	
			Errores de lectura y manejo de datos	
		Pérdidas reales	Fugas visibles	
			Fugas no visibles	
			Fugas pequeñas	
			Fugas y reboses en tanques	

Fuente: (AWWA, 2009).

Calidad de agua

El agua potable es toda aquella agua tratada que cumple con los estándares o normas de calidad del agua que están constituidos por límites máximos permitidos. La Organización Mundial de

la Salud (OMS) generó la “Guía para la Calidad de Agua Potable” y en su cuarta edición del año 2011 establece valores de referencias para cada una de

las distintas variables: químicas, radiológicas, de naturaleza física y microbiológicas.

Además, con el fin de mejorar los servicios brindados a la población desde 1972, Costa Rica ha firmado diversos acuerdos internacionales en el tema de agua y saneamiento, los cuales han permitido modernizar la legislación actual.

En el año 2015, las Naciones Unidas presenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2015-2030 (ODS). En este contexto, el país se compromete a garantizar el cumplimiento de los objetivos. Entre ellos, se encuentra el ODS6, denominado “Agua limpia y saneamiento”, cuya meta expuesta en el apartado 6.1 propone lograr el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos y todas ([Mideplan, 2018](#)).

Costa Rica cuenta con un Reglamento para la Calidad del Agua Potable, emitido en el 2018 mediante el Decreto Ejecutivo número 41499-S. Este tiene como objetivo establecer los límites máximos permisibles, a fin de garantizar la inocuidad del agua y el bienestar de la población.

Según el Reglamento, los operadores de los sistemas deben contar con el Permiso Sanitario de Funcionamiento, conocido como PSF, de acuerdo con lo establecido en el decreto número 34728-S: “Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento del Ministerio de Salud”.

Posterior a la aprobación del PSF, es fundamental el Control Operativo y realizar los cuatro niveles de control de calidad, según corresponda, ([Costa Rica, 2019](#)) como se muestra a continuación:

- a) **Control Operativo (CO):** Corresponde a las mediciones de la turbiedad, olor y cloro residual deben ser periódicas y están a cargo del ente operador.
- b) **Nivel Primero (N1):** Consiste en la inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente, el almacenamiento, la distribución. Se determinan parámetros como: el color aparente, conductividad, pH, olor, temperatura, turbiedad, coliformes fecales y cloro residual libre o combinado.
- c) **Nivel Segundo (N2):** Consiste en un control ampliado. Se evalúan los siguientes parámetros: aluminio, calcio, cloruro, cobre dureza total, fluoruro, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio, sulfato y zinc.

d) **Nivel Tercero (N3):** Corresponde a un análisis avanzado. Los parámetros contemplados en este nivel son: amonio, antimonio, arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, nitrato, nitrito, plomo y selenio.

e) **Nivel Cuarto (N4):** Corresponde a un análisis ocasional, ejecutados en ocasiones especiales, ya sean emergencias o la identificación de algún riesgo inminente que puede contaminar el agua.

En los anexos del artículo 8 del Decreto 41499-S, se presenta un desglose de los parámetros de aceptabilidad, valores de alerta y los valores máximos admisibles según el nivel de control de calidad.

La frecuencia con la que se deben realizar cada uno de los estudios para una población de menos de 5000 habitantes, tal y como corresponde a la mayoría de los acueductos comunales, es la siguiente ([Costa Rica, 2019](#)): 1 análisis fisicoquímico (N1) en las fuentes de abastecimiento, 1 análisis microbiológico (N1) en la fuente de abastecimiento, tanque de almacenamiento y red de distribución. Además, cada tres años debe realizarse 1 análisis N2 y N3 en la fuente de abastecimiento y red de distribución.

Es relevante destacar la iniciativa del Laboratorio Nacional de Agua con respecto a brindar herramientas que ayuden a una correcta interpretación del Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Este propone un Índice de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano (IRCACH), el cual permite clasificar, según los resultados de los análisis de calidad del agua, la gravedad de los incumplimientos de los distintos parámetros de evaluación de la calidad del Decreto Ejecutivo 38924-S ([Dárner Mora et al., 2018](#)).

Cambio Climático (CC)

Echeverría (2011) indica que parte de los impactos esperados del CC son modificaciones en el régimen de lluvias, incluyendo su cantidad y distribución en el tiempo. El mismo autor indica que los cambios del clima afectan al ciclo

hidrológico con una mayor variabilidad espacial y temporal en la precipitación, según muestran los modelos climatológicos del IMN para Costa Rica. (Echeverría Bonilla, 2011).

De acuerdo con el informe histórico de la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) del año 2017 sobre amenazas naturales de Costa Rica, se tienen datos que confirman los escenarios multiamenaza a los cuales el país se encuentra expuesto (CNE, 2017). Según el informe del Estado de La Nación sobre “La gestión del riesgo y la vulnerabilidad en Costa Rica”, los principales fenómenos naturales extremos que afectan al país son los siguientes:

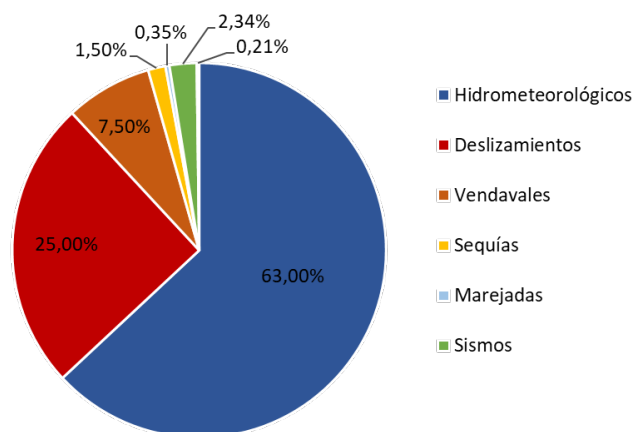


Figura 2. Porcentaje de afectación por eventos climáticos extremos en Costa Rica. **Fuente:** (Brenes, 2016).

Por lo tanto, se introduce una variabilidad climática que aumenta la incertidumbre en el análisis de ocurrencia de eventos extremos y en la descripción de fenómenos climáticos en general (Parry et al., 2007).

Con el pasar de los años, se han identificado deficiencias en el sector del recurso hídrico, así como en la gestión de este. Como ya se mencionó, los cambios en la cantidad y calidad del agua, debido a los efectos del cambio climático, están generando repercusiones significativas en la disponibilidad, estabilidad y accesibilidad al recurso hídrico (Murillo, 2017).

En Costa Rica, es frecuente la ocurrencia periódica de aumentos o disminuciones en la cantidad e intensidad de las precipitaciones. Ejemplos claros son el huracán Otto en el 2016 y la tormenta Nate en el 2017, que causaron grave destrucción en amplias zonas del país, que inhabilitaron infraestructura de comunicaciones, vivienda y múltiples servicios públicos, debido al desbordamiento de ríos, inundaciones,

deslizamientos y avalanchas, entre otros (CNE, 2017).

Además, con respecto a los períodos secos prolongados, el pronóstico de la CNE en agosto del 2018 especifica cómo el país va a estar bajo la influencia del fenómeno de El Niño. Esto ocasionará un déficit hídrico, así como sequía en la vertiente del Pacífico y Valle Central durante el 2019 (CNE, 2018).

El Departamento de Climatología e Investigación Aplicada del IMN durante el 2017, elaboró mapas de riesgo para el PNUD (Figura 3. y Figura 4.), desde el proyecto de Fortalecimiento de las capacidades de Asociaciones de Acueductos Rurales (ASADAS). Esto con el fin de enfrentar riesgos del Cambio Climático en comunidades con estrés hídrico en el Norte de Costa Rica: Upala, Los Chiles, Guatuso, Hojancha, Nicoya, Santa Cruz, La Cruz, Cañas, Liberia, Carrillo, Nandayure y Bagaces.

A partir de los resultados, se obtuvieron mapas de riesgo con respecto a eventos hidrometeorológicos extremos. En estos, se muestra que la zona del estudio de este trabajo (La Cruz) posee en la actualidad un riesgo medioalto con respecto a escenarios de inundaciones y alto en relación con períodos secos prolongados.

De acuerdo con esto, ante eventos extremos secos, el distrito de La Cruz es el que presenta mayor riesgo de los 10 cantones analizados por el IMN. Esto afectará aproximadamente a 10 mil personas, quienes se dedican en su mayoría a la venta de servicios. Referente a eventos extremos lluviosos, los distritos de La Garita y Santa Cecilia son los de mayor riesgo. Pueden verse afectadas unas 8000 personas que se dedican mayoritariamente a actividades agrícolas, pecuarias o de pesca. A continuación, se muestran los mapas generados.

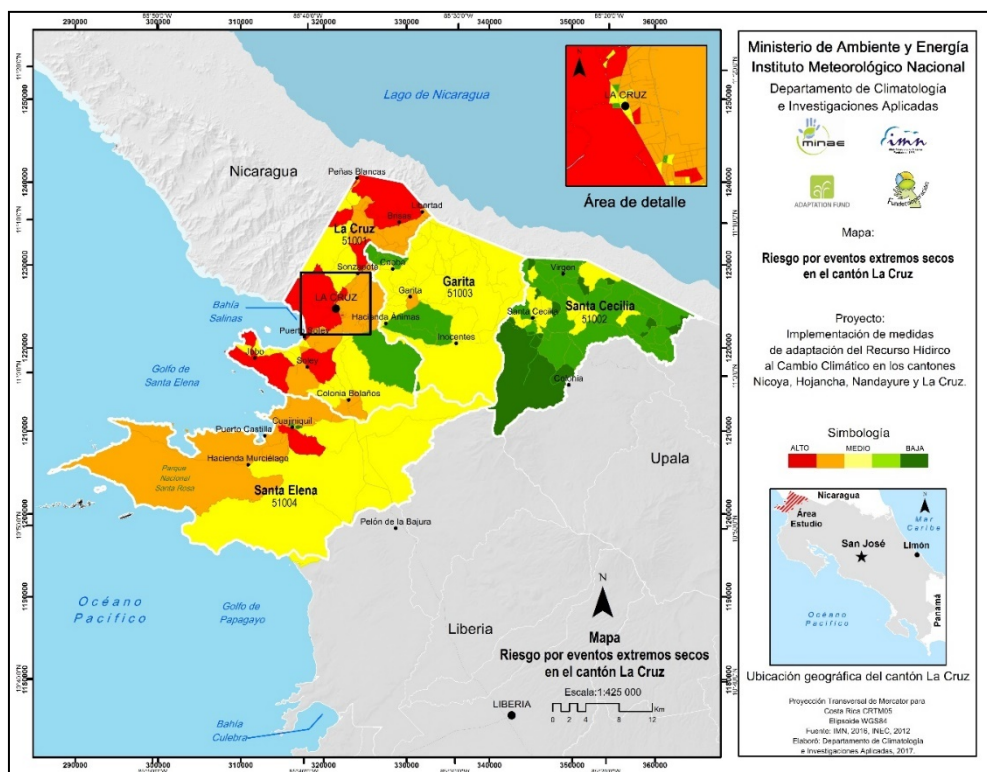


Figura 3. Índice de Riesgo ante eventos extremos secos Cantón de La Cruz.
Fuente: (IMN,2017)

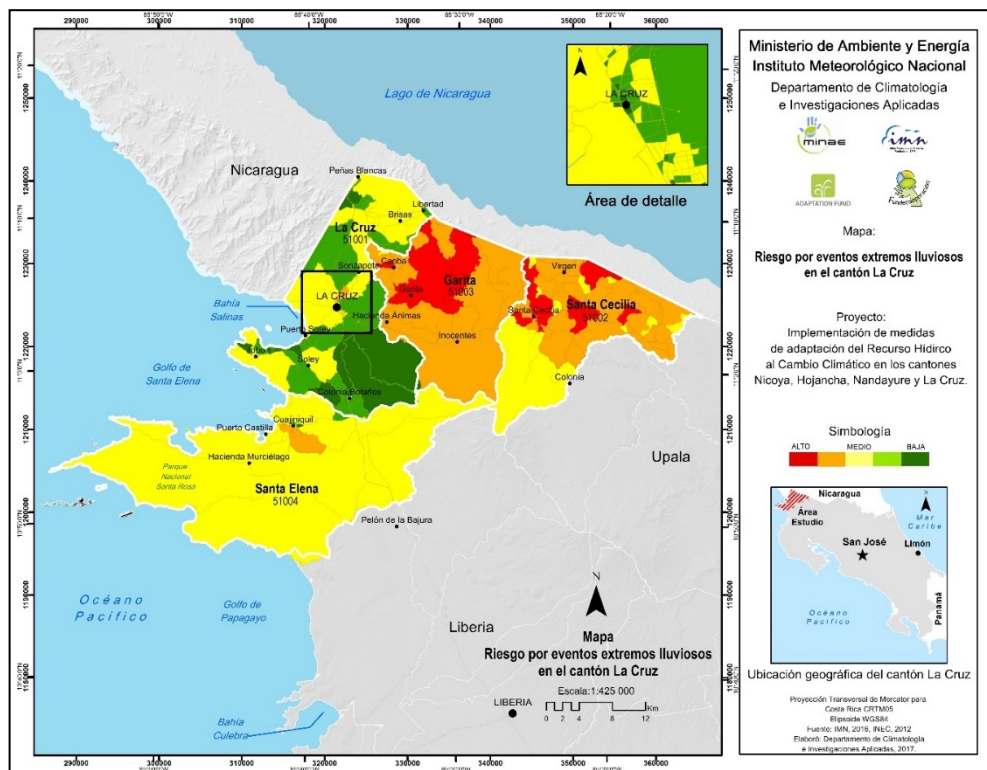


Figura 4. Índice de Riesgo ante eventos extremos lluviosos. Cantón de La Cruz.
Fuente: (IMN,2017)

Gestión del riesgo

Basándose en la definición brindada por la Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR, 2017), el riesgo de desastres es: “La posibilidad de que se produzcan muertes, lesiones o destrucción y daños en bienes en un sistema, una sociedad o una comunidad en un periodo de tiempo concreto, determinados (...) como una función del peligro natural, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad” (Véase Figura 5.).



Figura 5. Composición del riesgo de desastre con enfoque de cambio climático. **Fuente:** (IPCC, 2014; Paz, Méndez, & Mukerji, 2017)

Los peligros naturales, también conocidos en materia de riesgos como amenazas, corresponden a la probabilidad de que ocurra un evento extremo de origen natural, en espacio y tiempo determinados, con la intensidad suficiente para producir daños.

Por su parte, la vulnerabilidad está más relacionada al potencial de los elementos de que, ante un evento extremo, ocurran daños de altas magnitudes que generen afectaciones en la economía, la vida humana y el ambiente (BID, 2019; Landa, Magaña, & Neri, 2008).

Existen distintos tipos de vulnerabilidades: física, social (referente a aspectos de educación, salud y demás instituciones), económica y ambiental. La vulnerabilidad física, en la que se enfoca este proyecto, va más ligada al análisis de la infraestructura por efectos del CC, el cual se

debe de considerar en cualquier etapa de la elaboración de proyectos: planificación, ejecución, operación, mantenimiento, entre otros. (Paz et al., 2017).

También, es necesario tener en consideración la exposición como un componente importante; pues, se refiere a la coincidencia espacial y temporal de las personas y activos con las amenazas naturales (BID, 2019).

Por lo tanto, se define el riesgo como la coexistencia de la amenaza y un activo o población que no solo se encuentran expuestos al peligro, sino que además son vulnerables a ser afectados. Un buen ejemplo serían los eventos hidrometeorológicos extremos que por sí solos representan una amenaza, pero que al combinarse con una condición de vulnerabilidad tienen el potencial de ser un riesgo (BID, 2019; Landa et al., 2008).

Es relevante hacer énfasis en que los desastres constituyen la materialización del riesgo (la consecuencia) y que la ausencia de desastres, por algún periodo de tiempo, no implica una correspondiente ausencia de riesgo (BID, 2019).

Infraestructura resiliente

Se puede determinar que, en términos de infraestructura, la resiliencia es la capacidad de un sistema estructural de sufrir impactos, ya sea por estrés climático y no climático, sin alterar sus funciones. Para lograr un enfoque integral de resiliencia climática, se deben considerar diversos factores como los que se muestran en la Figura 6. Además, es necesario establecer mecanismos de articulación sectorial y multinivel en donde la política también juega un rol trascendental. Por otra parte, se requiere buscar soluciones flexibles con diversas visiones culturales, con capacidad de respuesta (Paz et al., 2017).

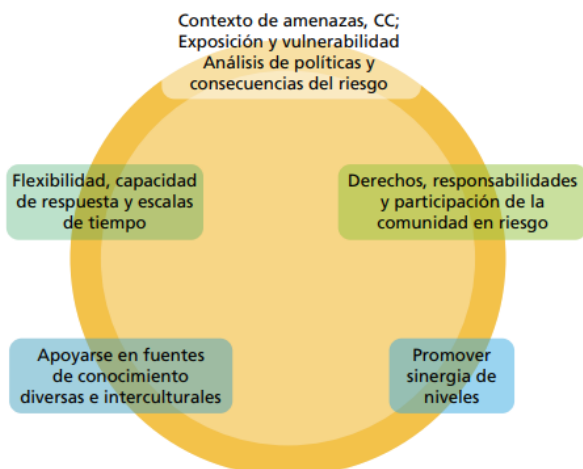


Figura 6. Enfoque integral de la resiliencia climática. Fuente: (Paz et al., 2017).

Tanto en los países de menor desarrollo como en las zonas rurales de Costa Rica, la atención de los desastres se ha enfocado en la reconstrucción de la infraestructura afectada en los mismos sitios y con las mismas condiciones previas al desastre. A esto se le conoce como reconstrucción de la vulnerabilidad de la infraestructura afectada (Slan et al., 2012).

Por tanto, una infraestructura se puede volver resiliente si se asegura una actualización que responda a las directrices con nuevas medidas de adaptación al CC. También, tendrá esta característica si los protocolos de mantenimiento incorporan medidas de resiliencia a los impactos durante la vida útil de la infraestructura. Para lograr lo anterior, se cuentan con las siguientes medidas de adaptación (Paz et al., 2017):

- Asegurar que la infraestructura sea resiliente a los posibles aumentos de los fenómenos meteorológicos extremos, tales como: tormentas, inundaciones, olas de calor, sequía, clima radicalmente frío u otro evento extremo que represente una amenaza.
- La toma de decisiones de inversión debe considerar las necesidades de los consumidores como una consecuencia al CC.
- Los diseños de la infraestructura pueden ser modificados en el futuro sin incurrir en costos excesivos.

- Se debe velar por que las instituciones encargadas de desarrollar infraestructura y los profesionales tengan los conocimientos adecuados y las capacidades para aplicar medidas de adaptación.

La reducción del riesgo y una mejor preparación para afrontar los impactos del clima y los desastres tienen como resultado que los costos de reconstrucción ante los eventos extremos se reduzcan considerablemente.

Ciencia ciudadana

El concepto de ciencia ciudadana no está establecido, sino que se encuentra en construcción y evolución. Tiene parte de su origen en las ramas de la ciencia que se dedican a la Observación de la Tierra (OT) y en el involucramiento de personas “no profesionales” que están interesadas en investigaciones y en ser parte del proceso de entendimiento de la tierra. Por ejemplo, implica desde el trabajo en mapeos, monitoreos de incendios forestales, la gestión de la contaminación del aire, hasta los aportes de los campos de la geografía, agricultura, océanos, geología, arqueología e ingeniería (Mathieu & Aubrecht, 2018).

Por lo tanto, se refiere a la participación del público en general en actividades de investigación científica, en las cuales los ciudadanos contribuyen activamente, ya sea con su esfuerzo intelectual, con el conocimiento de su entorno o colaborando con sus propias herramientas y recursos. Los participantes aportan datos experimentales y facilidades para la investigación, plantean nuevas preguntas y crean, junto a los investigadores, una nueva cultura científica donde se da una democratización de la ciencia. De esta forma, se contribuye a la difusión del conocimiento, la participación de las comunidades, la generación de nuevas perspectivas y enfoques distintos que producen nuevos resultados científicos (GBIF, 2017).

Parte de los beneficios es la gran capacidad de recoger datos a escalas espaciales y temporales grandes y con alta resolución espacial y temporal. Además, se da un aumento de la corresponsabilidad de la sociedad en la toma de decisiones (GBIF, 2017).

Metodología

El proyecto propuesto se desarrolló en las instalaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo de Costa Rica. Se realizó con la modalidad de una pasantía durante

el primer semestre del 2019 bajo la supervisión del equipo de ingeniería del Proyecto de Fortalecimiento de ASADAS. El proyecto se ejecutó en coordinación con el AyA.

Descripción del sitio

La ASADA en estudio es el Acueducto Comunal de Cuajiniquil de La Cruz. Se localiza en la zona agrícola y ganadera del cantón de La Cruz, al Noroeste de la Provincia de Guanacaste. Específicamente, en el Cantón N°10, La Cruz y en el Distrito N°4, Santa Elena. Este cantón limita al norte con Nicaragua y es donde se encuentra el

principal puesto fronterizo, llamado Peñas Blancas. (Véase Figura 7.)

Según datos INEC, en La Cruz residen aproximadamente 19 181 personas. Es una población pequeña, rural, agrícola, ganadera y pesquera.



Figura 7. Hoja Cartográfica, La Cruz, Santa Elena, Cuajiniquil. **Fuente:** (SNIT, 2018)

La comunidad de Cuajiniquil de La Cruz está principalmente constituida por casas de habitación tipo clase media y media baja, por lo tanto, se cuenta con una infraestructura sencilla. Hay negocios comerciales, una terminal pesquera, un puesto de Salud del Ministerio de Salud, una oficina de Policía Municipal, un colegio y una escuela.

La población cuenta con servicios de agua potable, electricidad, internet y telefonía. Las carreteras principales están asfaltadas, sus calles internas son de lastre, además de calles de tierra. Según lo informado por la comunidad, estas se mantienen en buen estado únicamente durante el verano.

La principal actividad socioeconómica de los habitantes de Cuajiniquil es la pesca y la agricultura, tal y como se mencionaba anteriormente. Por lo tanto, la zona en estudio cuenta con un nivel socioeconómico de clase media-baja y clase baja.

Es importante destacar que la tarifa para el servicio del agua se encuentra dividida en servicios: Domiciliares-Preferenciales (DOMIPRE) y Empresarial Gobierno (EMPREGO); por esto, la tarifa base varía para todos los usuarios. Actualmente, el acueducto abastece aproximadamente 2 554 personas, con alrededor de 608 servicios activos: 527 DOMIPRE y 81 EMPREGO.

Recopilación de información

Para la elaboración del presente diagnóstico, se realizó una recopilación de la información existente del acueducto, ya sean estudios específicos realizados por distintas empresas privadas, informes elaborados por instituciones del estado u organismos internacionales. Los archivos ubicados en las oficinas en Cuajiniquil eran pocos, por la pérdida total de la información física durante la tormenta Nate, lo cual representó uno de los grandes retos de esta fase del proyecto.

Dentro de los informes que se tomaron en consideración se encuentran: el estudio técnico realizado por el Ingeniero Carlos Guillermo Leiva en el 2015, el informe de diagnóstico post Nate de la ASADA de Cuajiniquil de la ORAC en conjunto

con el PNUD, informe del estado de la ASADA para la viabilidad de un nuevo tanque de almacenamiento por parte de la ORAC. Además, se estudió la información recopilada en los mapas elaborados por el geógrafo Olger Vega y puntos levantados por la ORAC, así como trazados de tuberías a construir a futuro, elaborados por el Ingeniero Guillermo Córdoba de INDER.

De igual forma, tal y como se muestra en el cuadro 7, se recopiló información existente durante todas las visitas técnicas realizadas a la comunidad durante los meses de enero, febrero y marzo, además de una visita personal a la ORAC durante el mes de enero.

Cuadro 7. Descripción de las visitas realizadas a la comunidad de Cuajiniquil

Número de visita	Fecha de Visita (2019)	Objetivos	Participantes
1era	21 de enero	Recopilar información. (Oficinas de la ORAC)	Alejandro Campos (PNUD) Natalia Meza (PNUD) María Jesús Morales (TEC/PNUD)
	22 de enero	Recopilar información. (Oficinas ASADA) Levantar elevaciones en distintos puntos de la red. Localizar el sitio para la instalación de un nuevo tanque.	Victoria Lara (presidenta ASADA) Olger Vega (Geógrafo y residente de la comunidad) Raúl Alemán (Fontanero) Alejandro Campos (PNUD) Natalia Meza (PNUD) María Jesús Morales (TEC/PNUD)
2da	08 de febrero	Dibujar un croquis junto con miembros de la comunidad del sistema del acueducto de Cuajiniquil, incluyendo: diámetros, SDR y materiales de tubería. Realizar el levantamiento topográfico para verificar elevaciones de tanques de almacenamiento, quiebra gradientes y pozos. También, determinar presiones en distintos puntos de la red.	Victoria Lara (presidenta ASADA) Raúl Alemán (Fontanero) Carlos M. Campos (Fontanero) Mario Chavarría (AyA) Natalia Meza (PNUD) María Jesús Morales (TEC/PNUD)
	09 de febrero	Trazar la línea de conducción de las 6 nacientes ubicadas en el Parque Nacional Santa Rosa, además de identificar puntos dañados por la tormenta Nate.	Raúl Alemán (Fontanero) Carlos (Fontanero) Olger Vega (Geógrafo y residente de la comunidad) Natalia Meza (PNUD) María Jesús Morales (TEC/PNUD)
3era	13 de marzo	Recopilar información. (Oficinas ASADA) Realizar un análisis de riesgos de los puntos con mayor vulnerabilidad del Acueducto de Cuajiniquil de La Cruz, Guanacaste. Determinar elevaciones en distintos puntos del centro poblacional, como insumo para el modelo hidráulico.	Victoria Lara (presidenta ASADA) Ana María Orellana (secretaria ASADA) Carlos M. Campos (Fontanero) Blas Enrique Sánchez (CNE) Natalia Meza (PNUD) María Jesús Morales (TEC/PNUD)

Inicialmente, se solicitó toda la información existente al PNUD, Municipalidad de la Cruz, INDER (Proyectos habitacionales), SINAC (Nacientes ubicadas en el Parque Nacional Santa Rosa) y demás instituciones que tuvieran relevancia en la gestión del acueducto.

Durante la primera visita a Guanacaste, se procedió a buscar en los expedientes de la ORAC, ubicada en Liberia, toda la información histórica del acueducto comunal de Cuajiniquil. Posteriormente, en la comunidad, se realizó una reunión de presentación del equipo del PNUD. Se compartió información importante como los archivos en digital de los mapas post Tormenta Nate realizados por el miembro de la comunidad, el geógrafo Olger Vega.

Con respecto a los mapas suministrados por Olger Vega, es relevante destacar que él utilizó ortofotos para ir trazando la tubería con ayuda de los fontaneros de la comunidad, por lo que representan una excelente fuente de información. Sin embargo, carecen de precisión con respecto a la ubicación espacial de los elementos en el mapa. Por esto, el objetivo principal del trabajo del geógrafo fue tener una base de datos georreferenciada y brindarles a los de la ASADA una sectorización del sistema del acueducto.

La tarde del martes 22 de enero se procedió a verificar la información georreferenciada existente, así como la toma de elevaciones en finales de ramal por el sector conocido como Murciélagos y la verificación del sitio de un nuevo tanque a construir (el diseño y ampliaciones del acueducto se encuentran fuera del alcance del presente proyecto), tal y como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Altimetría del sitio del nuevo tanque.

En consecuencia, la segunda visita comenzó con una mesa de trabajo en conjunto con los miembros de la ASADA con el fin de elaborar un diagrama previo de todo el sistema de agua que administra el acueducto (Véase Figura 9.). El diagrama se realizó junto con el Ing. Mario Chavarría del Departamento de Acueducto Comunales del AyA. También, se habló de la información que hacía falta recopilar para la fase del diagnóstico y de las necesidades específicas de la ASADA.



Figura 9. Reunión con representantes de la ASADA de Cuajiniquil.

Con la información recolectada durante la reunión, se procedió a digitalizar (la semana siguiente) en AutoCAD el diagrama del acueducto. Es relevante destacar que el dibujo es sin escala, pues el objetivo de este es representar la dirección del flujo que tiene el agua en el sistema para identificar los elementos y permitir que cualquier persona que no conozca el acueducto pueda tener una idea general de cómo funciona este al observarlo. Además, le servirá como insumo al Ing. Mario Chavarría para hacer la modelación hidráulica (Ver Apéndice 1).

Previamente, los miembros de la ASADA tenían preparada la información que se había solicitado vía telefónica, para cumplir con los requerimientos especificados en la guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura. Lo siguiente fue parte de lo solicitado: el último año de aforos, consumos de los últimos 12 meses, cantidad de servicios, especificaciones del sistema, informes de laboratorios, entre otros.

De igual forma, durante la tarde, se hizo un levantamiento planimétrico de los tramos de tubería que no estaban georreferenciados y se realizó la toma de presiones en el centro poblacional (Véase

Figura 10.) y puntos más bajos de la red. El equipo utilizado fue un manómetro con las siguientes especificaciones técnicas: llave de paso de bola, hembra (1/4") bronce, manómetro con glicerina (2 1/2" x 1/4") NPT salida abajo, escala de (0-200) psi y kPa, con una Manguera 300 PSI (3/8") multipropósito de 90 cm de largo.

Figura 10. Toma de presión en el centro poblacional.

El sábado 9 de febrero se inició el recorrido a las nacientes a las 5:00 a.m., las cuales están ubicadas en el Parque Nacional Santa Rosa. Se georreferenció toda la línea de conducción; además, se tomaron las elevaciones de las 6 captaciones y de las 2 cajas de reunión. También, se realizaron aforos en las captaciones con el fin de verificar los registros de producción brindados previamente por los fontaneros de la comunidad (Véase Figura 11.).

Asimismo, se identificaron los puntos afectados en la tubería debido a Nate y se hizo la planimetría correspondiente a todos los puntos de la tubería que se cambiaron a polietileno de alta densidad (PEAD) en las reparaciones post tormenta. Es importante destacar que dicha línea no se encontraba en calle pública, por lo que se tuvo que caminar todo el trayecto para tener la posición específica de la tubería y de los puntos vulnerables.



Figura 11. Visita sitio de captaciones en P.N. Santa Rosa.

Para finalizar la recopilación de información en sitio, se realizó una tercera visita en el mes de marzo con la compañía de un geólogo especialista en análisis de riesgo de la CNE (Figura 12.). El objetivo de la visita fue identificar el riesgo de los tramos de polietileno reconstruidos y hacer propuestas de mejora en cada tramo. En esta ocasión, se logró levantar áreas de riesgos en cada uno de los 9 puntos visitados.



Figura 12. Identificación de los riesgos en sitio.

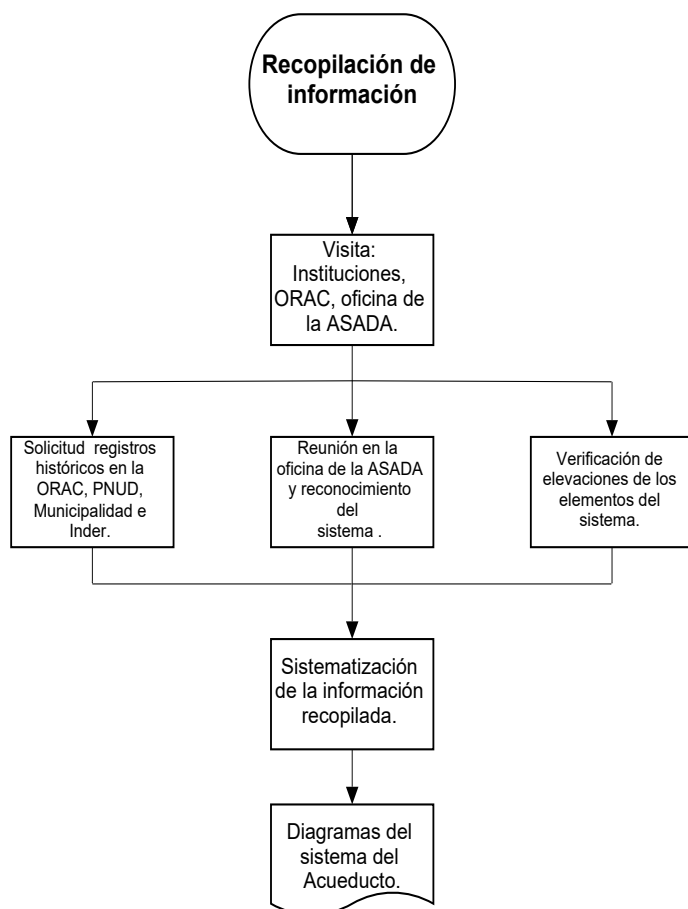


Figura 13. Diagrama de flujo de los pasos para la recopilación de información.

Levantamiento topográfico

Se realizó un levantamiento topográfico estático rápido y altimétrico de todos los elementos físicos del sistema. Se consideró nacientes, tanques de almacenamiento, tanques quiebra gradientes, pozos y tramos de tuberías. Además, las características físicas de cada elemento (diámetros, materiales y SDR) fueron igualmente recopiladas en campo.

La naturaleza de la medición fue absoluta ya que se utilizó un solo equipo que no solo recibe correcciones inmediatas de otro o de distintas fuentes satelitales, sino que con el pos-procesamiento se realizan las correcciones correspondientes con estaciones de referencia.

El equipo utilizado durante las visitas descritas anteriormente se compone de los siguientes elementos:

1. Una antena GNSS Spectra SP60 (GPS+GLONASS) junto con un bastón Spectra Precision para SP60 (Figura 14).



Figura 14. SP60 Spectra.

2. Un colector Trimble TDC100 con sistema operativo Android (Figura 15).



Figura 15. Trimble TDC100.

Al combinar la tecnología GNSS céntrica de seguimiento y procesamiento integral de señales y la capacidad del servicio de correcciones por satélite Trimble RTX, el receptor SP60 proporciona condiciones de excelente precisión, como se muestra en el Cuadro 8. :

Cuadro 8. Precisiones de los equipos SP60 y Trimble TDC100		
Procedimiento de toma de datos GNSS	Precisión	
	Horizontal	Vertical
SBAS (WAAS/EGNOS/MSAS/GAGAN) en tiempo real	< 50,00 cm	< 85,00 cm
Posición DGPS en tiempo real	25,00 cm	50,00 cm
Estático de alta precisión	3,00 mm	3,50 mm

Fuente: (Geospacial, 2018)

Además, se contó con 2 *software* con sus respectivas versiones de campo y oficina: Spectra Precision Survey Mobile/Office 4.10 Patch 2 y Mobile/Office Mapper Field 5.0.7. Como parte de la capacitación recibida, se aprendió a utilizar el *software* de pos-procesamiento GNSS para Spectra SP60/SP80. Mediante este programa, se puede ingresar información de topografías existentes o directamente desde internet y exportar información en forma de puntos, o en formato de puntos, o en formato CAD o XML (Trimble, 2017; SPECTRAGEOSPACIAL, s.f).

En campo, se realizaron levantamientos estáticos rápidos en todos los elementos físicos, tal y como se mencionó con anterioridad (véase Figura 16.), utilizando el *software* Survey Mobile.



Figura 16. Levantamiento estático rápido en los pozos del sistema Cuajiniquil.

Posteriormente, se descargaron los puntos de la altimetría en la computadora y se post procesaron mediante el programa “Spectra Precision Survey Office 4.10 Patch 2”. Previamente, se debe descargar un conjunto de mediciones de la estación de referencia más cercana al sitio de estudio; en este caso, se utilizó la estación del Registro Nacional ubicada en Liberia. Los datos deben corresponder a un mismo rango de horas y día, que la recolectada por el equipo en campo. Durante el post procesamiento las “estaciones de control” corrigen la posición y la elevación de los elementos dando como resultados precisiones milimétricas (Campos,2019).

Por otra parte, en el trazado de la tubería, se utilizó el *software* Mobile Mapper Field que toma los datos en tiempo real. El programa permite crear distintas capas de puntos, líneas y polígonos para ir definiendo un mapa del acueducto en campo, tal y como se muestra en la Figura 17. La principal ventaja del *software* es que se pueden descargar los datos fácilmente para visualizarlos con sus respectivos atributos en SIG, o bien, descargar el mapa en AutoCAD.

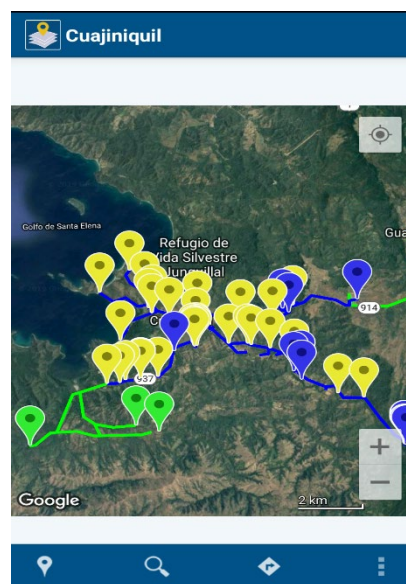


Figura 17. Ejemplo de visualización de la aplicación Mobile Mapper Field.

Durante la tercera visita, por motivos de tiempo, se decidió utilizar en conjunto con el Mobile Mapper Field un programa denominado SPace, 2.0.22 el cual utiliza la recepción GNSS en tiempo real en la toma de elevaciones (véase Figura 18).



Figura 18. Levantamiento mediante el software SSpace.

En conjunto, ambos equipos y el **software** pueden generar precisiones de ± 60 cm, lo cual para efectos de calibración se encuentra dentro de los rangos permisibles (Alcocer et al., 2003; Haestad Press Publication, 2001).

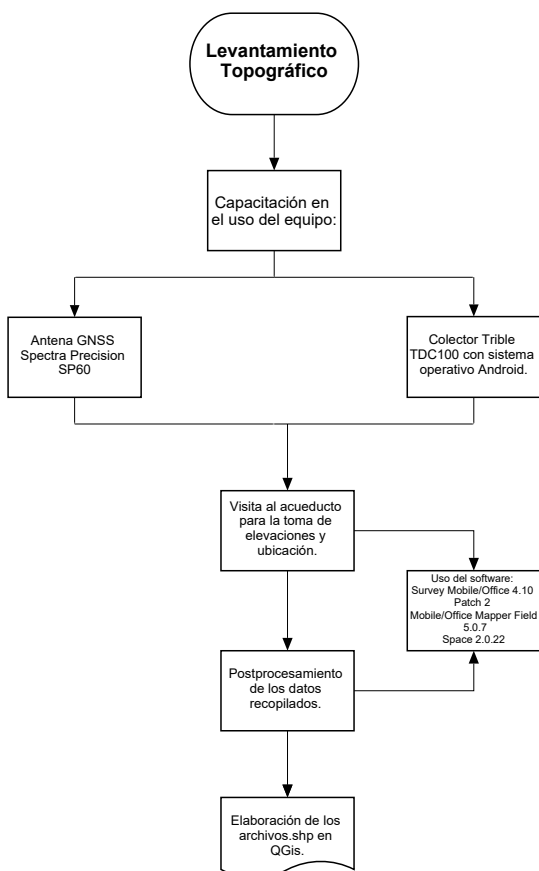


Figura 19. Diagrama de flujo de los pasos realizados del levantamiento topográfico

Análisis espacial

La información obtenida se exportó a formato Shapefile (archivos que poseen una extensión.shp) para que pudiera ser ingresada en el **software**, de dominio público Quantum GIS (QGIS).

Previo a importar los archivos y a realizar el debido pos-procesamiento las capas, se visualizaron en el QGIS, al cual se le añadió la imagen satelital: Bing Aerial de Microsoft. Estos procesos se realizaron bajo el Sistema de Referencia CR05 y la Proyección Cartográfica para Costa Rica, CRTM05.

En esta etapa, se procedió a hacer un archivo en QGIS con toda la información satelital que se contaba del acueducto y recopilada durante la primera fase. Tal y como se mencionó, se tenía información de proyectos a futuro por parte del INDER, la información recopilada por el geógrafo Olger Vega, además de puntos tomados por la ORAC, los cuales se volvieron a verificar tanto en posición (X,Y) como en altimetría ya que en el equipo utilizado por los funcionarios es un GPS Garmin Dakota 20 cuya precisión es de ± 10 metros

Toda la información anterior se analizó con el fin de conservar los datos relevantes para el inventario de infraestructura y para la óptima ubicación de todos los elementos de sistema. Es importante destacar que hay un tramo de la tubería de conducción que no era accesible, por la abundante vegetación; por esto, se tomaron puntos de referencia y en el QGIS se trazaron líneas con la herramienta de Edición (añadir objeto espacial) a las cuales se les agregaron sus respectivas características (materiales).

Se unieron distintas tablas de atributos para únicamente generar una capa con toda la información del elemento. Mediante la herramienta se corrigieron los polígonos de riesgos alrededor de cada uno de los puntos vulnerables en la tubería, a partir de lo cual se obtuvo un mapa con los detalles del sistema y su respectiva ubicación espacial.

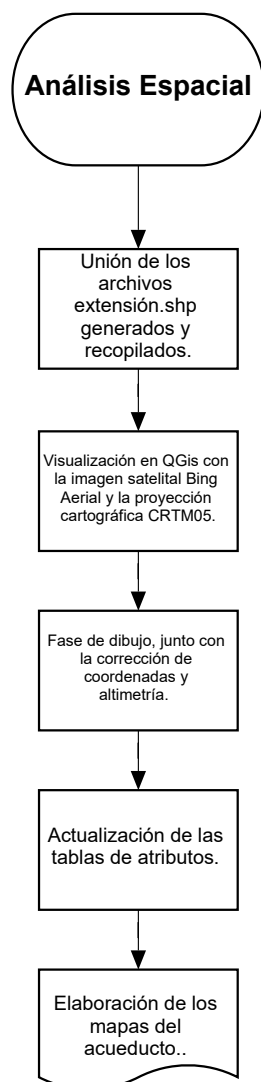


Figura 20. Diagrama de flujo de los pasos realizados para el Análisis Espacial

Balance hidráulico

Con el fin de llevar a cabo el Balance Hidráulico (BH), se solicitó la información de los consumos facturados por la ASADA, la cual cuenta con micromedición. Sin embargo, no existe la certeza de que la micromedición está por casa individual; es decir, que no hay más de una vivienda conectada a un mismo micromedidor. Por lo tanto, se consideran como verdaderos los servicios brindados por el sistema de facturación de la ASADA, pero no se hace la relación directa entre servicios y viviendas.

Por otra parte, es importante tener en consideración que el acueducto no cuenta con macromedición, por lo que se analizaron los datos brindados por los fontaneros de los aforos realizados mensualmente. Estos datos fueron determinados directamente de las cajas de reunión de las captaciones con el fin de saber el volumen que ingresa al sistema.

Para la realización del balance, se utilizó la herramienta en Excel elaborada por el AyA y el PNUD denominada: Calculadora de Balance Hídrico; además, se tomó en consideración la metodología AWWA para el cálculo del IANC. También, se debe aclarar que para efectos de los cálculos, se consideró que todos los meses tienen 30 días.

Los pasos por seguir para la determinación del balance hidráulico son los siguientes:

1. Saber la totalidad de servicios y el consumo promedio en metros cúbicos por cada uno.
2. **La determinación de los habitantes por servicios:** Tomados del décimo Censo de Población y Vivienda 2011, de donde se identificó un factor de hacinamiento. Se determinó de esta forma, pues, la ASADA no cuenta con la información detallada de cada uno de los servicios y por ser el escenario común en la mayoría de los acueductos comunales tiende hacer el procedimiento estándar.
3. **Población abastecida:** Se realizó una multiplicación entre la cantidad de los servicios y el factor de hacinamiento para el distrito de Santa Elena, según datos del INEC.
4. **Dotación:** Al contar con el registro mensual de consumo proveniente de la micromedición se determina un promedio. Con el conjunto de datos, se realizará una prueba de normalidad en el *software* RStudio con el fin de validar el uso del valor ponderado y de esa forma confirmar que el promedio representa de manera correcta la mayoría de los datos con los que se cuenta.

La dotación se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Dotación (L/p/d)} = \frac{[\text{consumo(m}^3\text{)}] \cdot \frac{1000}{30}}{\text{Población Abastecida}} \dots (\text{Ec.1})$$

5. **Producción de las fuentes:** A partir de los aforos, se obtuvo los caudales de las fuentes (L/s).

Con los datos mensuales de las fuentes, se hizo una sumatoria de lo producido por cada una de las nacientes y de los pozos. En este punto, es relevante destacar que el funcionamiento de los pozos es de manera automática, utiliza boya, por lo que se deben de determinar las horas en las que la bomba está trasegando agua con el fin de no sobredimensionar la cantidad de agua que ingresa al sistema. En el caso del Acueducto de Cuajiniquil, los pozos funcionan 19 horas al día.

Para la determinación del punto anterior, se pueden utilizar instrumentos como el horómetro que registran el número de horas que un motor o aparato eléctrico se mantiene encendido. En este caso, el motor de la bomba, o bien, en caso de no tener instrumentación la consulta a los trabajadores del acueducto que conocen el sistema.

6. **IANC:** Se determinó el IANC con los valores del volumen que ingresa a la red y el consumo, ambos mensuales y en metros cúbicos (m³):

$$IANC = \frac{Vol.Sistema (m^3) - Consumo (m^3)}{Vol.Sistema (m^3)} \quad \dots (Ec.2)$$

De igual forma, con el conjunto de datos, se realizará una prueba de normalidad en el *software* RStudio con el fin de validar el uso del valor ponderado y validar que representa correctamente el set de datos. A partir de las pruebas se determina cuál es el valor por utilizar en la ecuación (4).

7. Al tener la dotación (L/p/d), el IANC y la población se aplica la siguiente fórmula para la determinación del caudal promedio:

$$Q_{prom} = \frac{Población(Dotación(L/p/d) * (1 + IANC))}{86400 \frac{s}{día}} \quad \dots (Ec.3)$$

Debido a que, por lo general, las ASADAS no cuentan con curvas de consumo, se propone utilizar los siguientes coeficientes para determinar la demanda máxima diaria y la demanda máxima horaria, tomados de las "Normas de diseño de agua potable" del AyA. El factor máximo diario (FMD) es de 1,20 y el factor máximo horario (FMH) corresponde a un 1,80.

En donde:

$$QMD = QPD * FMD \quad \dots (Ec.4)$$

$$QMH = QMD * FMH \quad \dots (Ec.5)$$

Siendo:

QMD: caudal máximo diario (L/s)

QPD: caudal promedio diario (L/s)

FMD: factor máximo diario

QMH: caudal máximo horario (L/s)

FMH: factor máximo horario

Las demandas máximas (diaria y horaria) se calcularon tomando en cuenta el porcentaje de crecimiento poblacional anual, por lo que se proyectó el caudal de diseño al 2039 con un intervalo de 5 años. Para realizar la proyección poblacional, se consideró el crecimiento vegetativo de la población. Según datos del INEC el Cantón de La Cruz, distrito de Santa Elena, posee un 1,9% de crecimiento anual.

Con el fin de calcular el balance en la herramienta, se utiliza el QMD y la producción de las fuentes que ingresa al sistema. Se aplica la ecuación 7 con el fin de determinar el BH, en la cual la demanda corresponde al QMD calculado con anterioridad.

$$BH = Demanda (L/s) - Producción (L/s) \quad \dots (Ec.6)$$

8. Para finalizar, considerando los datos que muestra la norma del AyA, se calculó el volumen mínimo de almacenamiento que debe de tener la comunidad. Consta de la sumatoria de los siguientes tres aspectos.

8.1 Almacenamiento por regulación de consumo

Es el requerido para compensar las fluctuaciones horarias del consumo. Si no cuenta con las curvas de consumo reales, se calcula como el 14% del volumen promedio diario.

$$V_{reg} (m^3) = QPD \left(\frac{L}{s} \right) * \frac{8640 s}{1000 L} * 0,14 \quad \dots (Ec.7)$$

9.2 Volumen de reserva para interrupciones

Es el volumen que corresponde a un periodo de cuatro horas del caudal promedio diario.

$$V_{int} (m^3) = QPD \left(\frac{L}{s} \right) * \frac{8640 s}{1000 L} * \frac{4}{24} \quad \dots (Ec.8)$$

9.3 Almacenamiento para incendio

El volumen correspondiente a la dotación requerida en caso de incendios se calcula con lo especificado según la Ley de hidrantes N° 8641, emitida en el 2008: “Si el hidrante está conectado a un tanque de almacenamiento de agua, el tanque debe tener como reserva adicional para incendio 15 metros cúbicos de agua para conjuntos habitacionales cuyas casas estén separadas y 22 metros cúbicos de agua para conjuntos habitacionales cuyas casas sean contiguas.” Por lo tanto, el volumen total de almacenamiento requerido se calcularía como:

$$V_{\text{total}} (\text{m}^3) = V_{\text{reg}} + V_{\text{int}} + V_{\text{inc}} \quad \dots(\text{Ec.9})$$

Con respecto al balance de agua de la referencia AWWA, no se contó con la información requerida para llevar el análisis a un segundo nivel, por lo que el volumen del sistema se analizó únicamente en consumo autorizado y en las pérdidas de agua (véase Figura 21.).

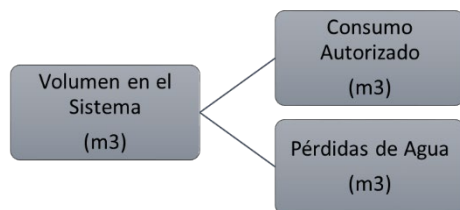


Figura 21. Balance hidráulico AWWA.

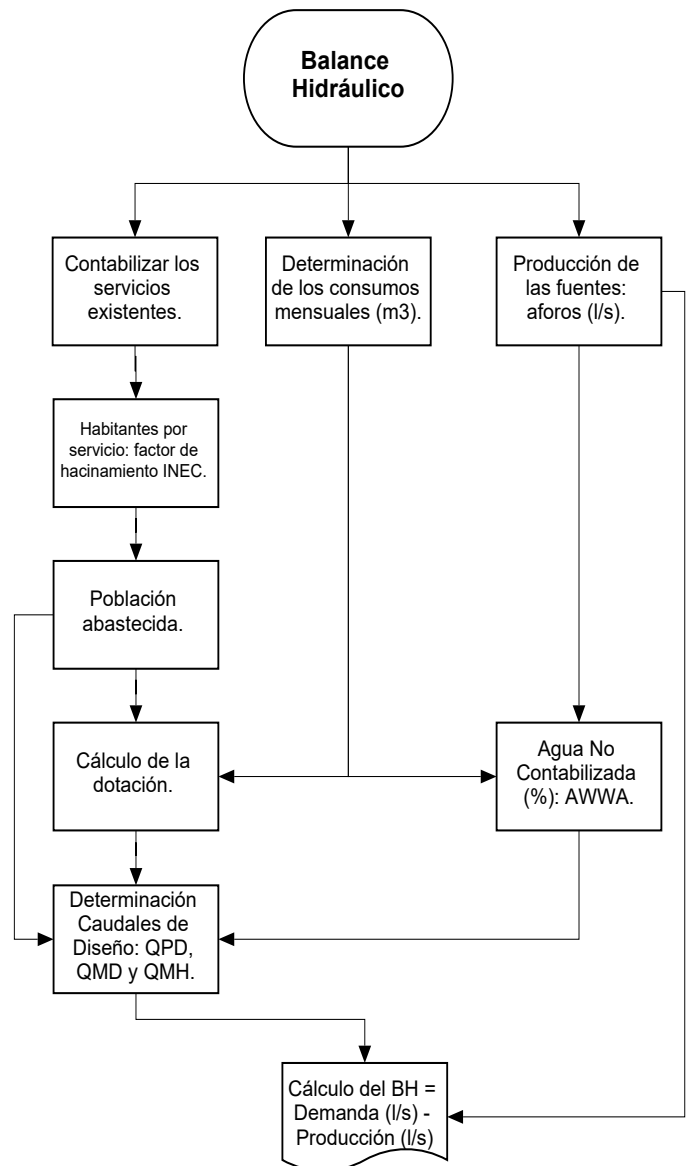


Figura 22. Diagrama de flujo de los pasos realizados en el Balance Hidráulico.

Calidad de agua

Con respecto a la calidad de agua, se realizó una recopilación de los estudios de laboratorio más actualizados contratados por la ASADA. En los casos en los que la documentación existente se encontraba únicamente en físico, se procedió a solicitar al laboratorio correspondiente el registro de las pruebas realizadas en digital con el fin de ayudarle a los miembros de la asociación a sistematizar la mayor cantidad de la información del acueducto. Al tener los análisis, se identificó a qué grupo correspondían: Control Operativo, N1, N2, N3 o N4.

Además, para la interpretación de los resultados, se utilizó la hoja de cálculo en Excel elaborada por el Laboratorio Nacional de Aguas para la evaluación puntual del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH).

La utilización de la herramienta mencionada permite relacionar el grado de riesgo para la salud del consumidor y el rechazo por este, con el cumplimiento de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos; de esta forma, se facilita la interpretación de los análisis en concordancia con el puntaje de riesgo vinculado con las variables de operación, la estética y la salud, en los sistemas de abastecimiento de agua en Costa Rica (Dárner Mora et al., 2018).

La determinación de los ámbitos para los distintos parámetros a evaluar y la determinación del puntaje del IRCACH se determinó con base en:

- La cuarta edición de las *Guías para la calidad de agua potable* (OMS, 2011).
- Lineamientos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
- El *Reglamento para la calidad del agua potable* vigente (Decreto Ejecutivo 38924-S)

La hoja de cálculo da como resultado una clasificación del nivel de riesgo según cinco colores: Riesgo muy bajo (Azul), Riesgo bajo (Verde), Riesgo intermedio (Amarillo), Riesgo alto (Naranja) y Riesgo muy alto (Rojo). Asimismo, se dan recomendaciones y acciones para seguir en un proceso de mejora en la calidad del agua del acueducto tal y como se muestra en el siguiente Cuadro 9. (Dárner Mora et al., 2018).

Cuadro 9. Niveles de riesgo de la calidad del agua para consumo humano				
Clasificación	Nivel de Riesgo	Código de colores	Calidad de Agua	Acciones y Recomendaciones
$x \leq 5$	Riesgo muy bajo (RMB)	Azul	Apta para ingesta	Continuar suministro de manera normal.
$5 < x \leq 10$	Riesgo bajo (RB)	Verde	Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de calidad.	Continuar suministro, control de la calidad del agua.
$10 < x \leq 20$	Riesgo intermedio (RI)	Amarillo	No apta para ingesta, rechazo por parte de los consumidores.	Seguir protocolo de atención a problemas de calidad de agua.
$20 < x \leq 30$	Riesgo Alto (RA)	Naranja	No apta para ingesta	Seguir protocolo de atención a problemas de calidad de agua.
$x > 30$	Riesgo muy alto (RMA)	Rojo	No apta para ingesta	Seguir protocolo de atención a problemas de calidad de agua .

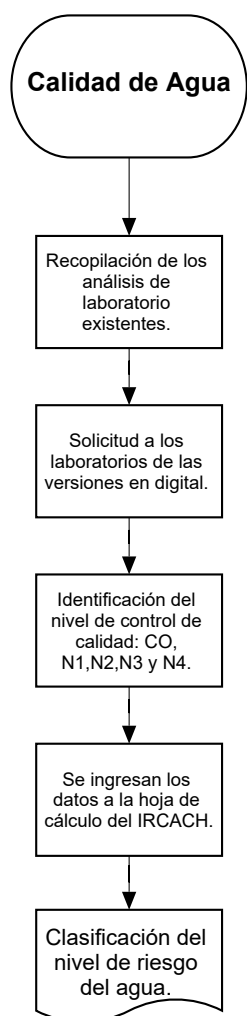


Figura 23. Diagrama de flujo de los pasos realizados en el análisis de calidad de agua.

Análisis de riesgos

La identificación de riesgos se realizó inicialmente por medio de los siguientes tres pasos. Primero, una consulta explícita a miembros de la comunidad sobre las amenazas de origen natural que han sufrido históricamente. Segundo, una visita al sitio con el fin de georreferenciar los puntos y polígonos considerados como zonas vulnerables. Por último, una segunda visita junto con el geólogo Blas Enrique Sánchez de la Unidad de Investigación y Análisis de Riesgo de la CNE.

Durante el segundo paso mencionado, se recorrió la comunidad y se recopiló la información

con ayuda de los fontaneros que tienen el conocimiento de cada uno de los tramos más afectados. Para finalizar, unas semanas después se realizó la visita con el geólogo de la CNE con el cual se recorrieron los puntos previamente localizados y georreferenciados, por lo que el recorrido fue específicamente para evaluar e identificar las amenazas de origen natural en el acueducto con el fin de generar recomendaciones de mejora e intervención de obras.

No basta únicamente con entender cuáles son las amenazas climáticas, sino que se deben valorar con un mapeo de riesgos, tal y como se realizó durante la visita con el geólogo de la CNE. Además, se reconocieron los distintos escenarios climáticos o cambios de las amenazas durante el tiempo.

A partir de la información recopilada en sitio y el informe de la CNE, se identificaron e implementaron medidas a largo plazo para realizarle a las obras existentes una propuesta de protección, reforzamiento o reubicación, si así lo ameritan, con el fin de reducir la exposición.

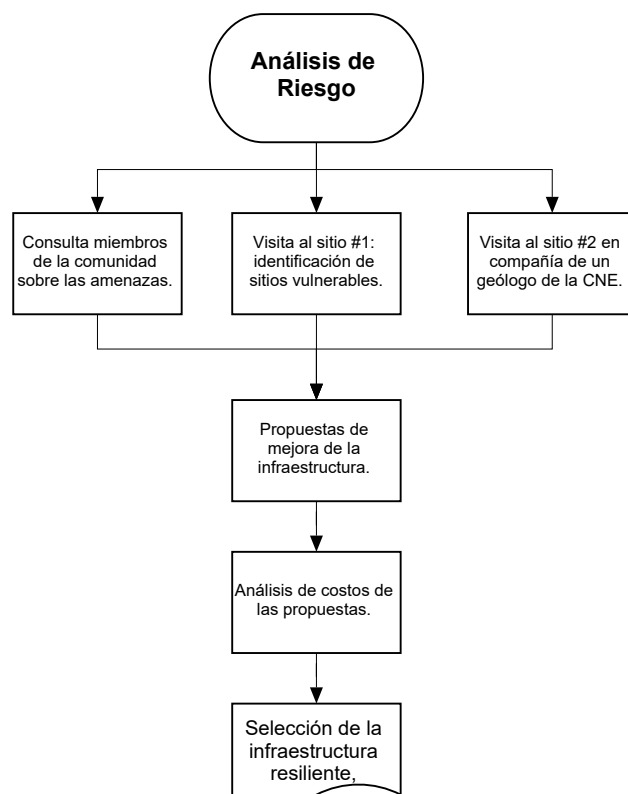


Figura 24. Diagrama de flujo de los pasos realizados en el Análisis de Riesgo.

Resultados

Recopilación de información

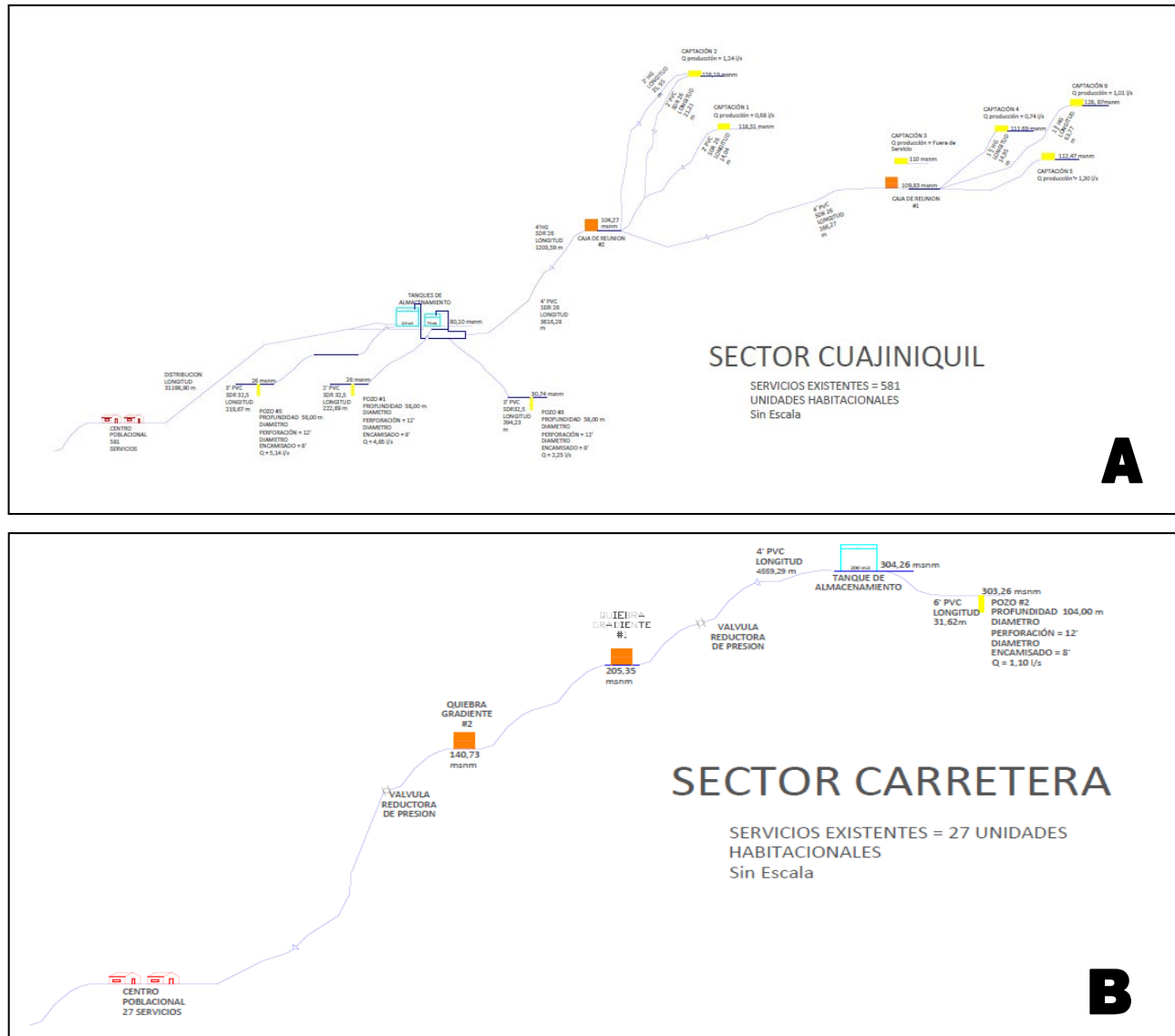


Figura 25. (A) Diagrama general del sector cuajiniquil. (B) Diagrama general del sector carretera.

Levantamiento topográfico

El acueducto de Cuajiniquil se compone de dos subsistemas que están conectados. El primero es el Sistema del Sector Cuajiniquil, el cual está conformado por 6 nacientes captadas, que no se encuentran cercadas y se ubican en el Parque Nacional Santa Rosa. Además, incluye 2 pozos y 2 tanques de almacenamiento. Este sistema está ubicado al Sur de Cuajiniquil.

El segundo sistema está localizado en el Sector de la Carretera al Este de Cuajiniquil centro, frente a la carretera Ruta Nacional # 914. Este abastecía únicamente a dicho sector, que corresponde actualmente alrededor de 27 servicios. En este momento, el sistema se encuentra sin uso ya que el pozo está inhabilitado, por lo que las casas están siendo abastecidas por el Sistema del Sector Cuajiniquil. Esto implica problemas de presión, ya que algunas casas se encuentran a mayor elevación con respecto al tanque del sistema en funcionamiento. Por esta razón, la ASADA ha estado haciendo una inversión de llevar agua en cisterna con el fin de abastecer a las casas afectadas.

Dentro de los planes a corto plazo, se encuentra perforar un nuevo pozo con el fin de rehabilitar el Sistema Sector Carretera. Además, este sistema contará con una reubicación de 122 casas del barrio Las Vegas en un nuevo proyecto denominado Urbanización Nueva Esperanza.

Sistema Sector Cuajiniquil

Fuentes de producción

A continuación, se describirán brevemente cada una de las captaciones. En el Cuadro 10, se pueden observar la ubicación y otras

características generales de cada una de las fuentes.

- Las nacientes 1 y 2 cuentan con una captación de concreto que tiene un área aproximada de $6,00 \text{ m}^2$, es de concreto, con losa superior y con dos bocas de inspección de $0,60 \times 0,60 \text{ m}$.



Figura 26. Captación Naciente 1.

Figura 27. Captación Naciente 2.

- La naciente 3 cuenta con una captación de concreto que tiene un área aproximada de $8,00 \text{ m}^2$, es de concreto, con losa superior y con una boca de inspección de $0,60 \times 0,60 \text{ m}$. En la actualidad, no se encuentra conectada a la red.

Figura 28. Captación Naciente 3.

- La naciente 4 cuenta con una captación de concreto que tiene un área aproximada de 2,00 m², es de concreto, con losa superior y con una boca de inspección de 0,60 x 0,60 m.



Figura 29. Captación Naciente 4.

- La naciente 5 cuenta con una captación de concreto que tiene un área aproximada de 3,80 m², es de concreto, con losa superior y con una boca de inspección de 0,60 x 0,60 m.
- La naciente 6 cuenta con una captación de concreto que tiene un área aproximada de 4,18 m², es de concreto, con losa superior y con una boca de inspección de 0,60 x 0,60 m.



Figura 30. Captación Naciente 5.



Figura 31. Captación Naciente 6.

- Dos cajas de reunión: la caja de reunión 1, es la principal, recibe las aguas de las nacientes 1 y 2 y las del grupo de nacientes (3, 4, 5 y 6), que son captadas previamente por la caja de reunión 2.



Figura 32. Caja de Reunión 1.



Figura 33. Caja de Reunión 2.

- El Pozo #3 se encuentra a 58,00 m de profundidad, 12 pulgadas de diámetro de perforación y 8 pulgadas de diámetro de encamisado en PVC. Cuenta con equipo de bombeo de 5 HP.



Figura 34. Casetilla Pozo 3.

- El Pozo #1 y #5 poseen una profundidad de 56,00 m, 12 pulgadas de diámetro de perforación y 8 pulgadas de diámetro de encamisado en PVC. Cada pozo cuenta con equipo de bombeo de 5 HP.



Figura 35. Casetilla Pozos 1 y 5.

- El Pozo #4 se encuentra encamisado en tubería de PVC de 6 pulgadas y posee un diámetro de perforación de 10 pulgadas. Dicho pozo no se encuentra conectado a la red.



Figura 36. Sitio de perforación Pozo 4.

Su localización, elevaciones y caudales se encuentran en el Cuadro 10. Los caudales se recopilaban a partir de los registros de aforos realizados mensualmente por parte de los fontaneros en L/s.

Cuadro 10. Ubicación y características de los elementos de las fuentes de producción				
Captaciones	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Elevación (msnm)	Caudal (L/s)
Naciente 1	322643,83	1206070,89	118,51	0,68
Naciente 2	322656,30	1206076,09	126,19	1,23
Naciente 3	322631,53	1205941,25	110,00	Fuera de Servicio
Naciente 4	322645,71	1205936,28	111,69	0,74
Naciente 5	322648,91	1205919,83	112,47	1,30
Naciente 6	322677,85	1205896,77	128,87	0,75
Pozo 1	319201,82	1208650,33	26,27	4,85
Pozo 3	319449,69	1208330,45	30,74	2,25
Pozo 4	315486,05	1209409,52	16,61	10,00
Pozo 5	319201,82	1208650,33	26,27	5,14
Caja de Reunión 1	322631,53	1205941,25	109,83	-
Caja de Reunión 2	322627,62	1206069,65	104,27	-

Líneas de conducción e impulsión

Es importante destacar que las líneas de conducción descritas a continuación no pasan por terrenos que se encuentran a nombre de la ASADA; en cambio, las líneas de

impulsión salen terrenos que sí pertenecen a la ASADA y que cuentan con cierre perimetral para proteger los pozos. Las características correspondientes a cada tramo de tubería se pueden observar en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Características de las tuberías de conducción e impulsión Sistema Sector Cuajiniquil					
Tipo	Longitud (m)	Diámetro (pulg)	Material	Cédula	Descripción
Conducción	117,28	0,50	PVC	SDR26	Ramal
Conducción	25,95	2,00	HG	-	N2 a CR2
Conducción	14,04	2,00	PVC	SDR26	N1 a CR2
Conducción	63,77	1,50	HG	-	N6 a CR1
Conducción	14,95	1,50	HG	-	N4 a CR1
Conducción	27,54	1,50	HG	-	N5 a CR1
Conducción	166,27	4,00	PVC	SDR26	CR1 a CR2
Conducción	21,21	2,00	PVC	SDR26	N2 a N1
Conducción	1203,59	4,00	HG	SDR26	CR2 a Tanques
Conducción	3616,28	4,00	PVC	SDR26	CR2 a Tanques
Impulsión	394,23	3,00	PVC	SDR32,5	Impulsa Pozo 3
Impulsión	219,68	3,00	PVC	SDR32,5	Impulsa Pozo 5
Impulsión	222,69	2,00	PVC	SDR32,5	Impulsa Pozo 1
Impulsión	34,00	6,00	PVC	SDR32,5	Impulsa Pozo 2
Total	6141,48				

Tanques de almacenamiento

El sistema cuenta con dos tanques contruidos en mampostería, repellados a lo interno y con pintura impermeabilizante en el exterior. Se encuentran en buen estado. El más antiguo de los dos tiene 35 años de construido. Las características de ambos se muestran en el Cuadro 12. y se pueden observar en las Figuras 37 y 38. Sí se cuenta con

un sistema de desinfección por cloración, el cual está ubicado directamente en el tanque de almacenamiento. El sistema consiste en una cloración por medio de pastillas, colocadas en un tubo con un flujo de agua continuo, y la dosificación de cloro.

Cuadro 12. Ubicación y características de los tanques Sector Cuajiniquil				
Tanques	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Elevación (msnm)	Volumen (m³)
Tanque de Almacenamiento 1	319417,20	1208691,61	80,10	125,00
Tanque de Almacenamiento 2				75,00



Figura 37. Tanque de almacenamiento 1.



Figura 38. Tanque de almacenamiento 2.

Líneas de distribución

La línea de distribución se compone de aproximadamente 31,00 km distribuidos en distintos tramos con 2 tipos de material: Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y Policloruro de Vinilo (PVC); consta de diámetros entre (0,5-6) pulgadas además de SDR13,50 y SDR26. Los detalles de cada tubería, tramos y numeración con respecto a los observados en el diagrama de AutoCAD se muestran en el cuadro del Apéndice 2.

Sistema Sector Carretera

Fuente de producción

Este sistema tiene un pozo de 104,00 metros de profundidad y cuenta con equipo de bombeo de 2 HP. Este pozo colapsó por problemas estructurales de armado y hacerlo quedó con una profundidad de 30 metros; además, perdió capacidad de producción. Las características generales del pozo 2 se encuentran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Ubicación y características Sector Carretera						
Captaciones	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Elevación (msnm)	Caudal (L/s)	Diámetro de perforación (pulg)	Diámetro de encamisado (pulg)
Pozo 2	321191,60	1211309,76	303,26	1,10	12,00	8,00

Línea de impulsión

Para el Sector Carretera, se cuenta únicamente con una línea de impulsión de Pozo 2 al Tanque de Almacenamiento que consta de tuberías de PVC, de 6 pulgadas (152,40 mm), en una longitud de 34,00 metros.

Tanques de almacenamiento

El sistema de Sector Carretera dispone de un tercer tanque de almacenamiento el cual se ubica al este de Cuajiniquil, frente a la Ruta 914. Dispone de un volumen de 200 m³.

También, este sector cuenta con dos tanques quiebra gradiente; pues, el sector se caracteriza por tener una pendiente elevada y se debe evitar el exceso de presión para que no se rompan tuberías. A continuación, en el Cuadro 14, se muestran las características de los tanques de este sector y se pueden observar en las Figuras 39, 40 y 41.

Cuadro 14. Ubicación y características de los tanques Sector Carretera			
Tanques	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Elevación (msnm)
Tanque de Almacenamiento	321191,60	1211309,76	304,26
Quebra Gradiante 1	318874,93	1210977,82	205,35
Quebra Gradiante 2	319064,47	1210846,97	140,73



Figura 39. Tanque de almacenamiento 1.



Figura 40. Tanque Quebra Gradiante 1.



Figura 41. Tanque Quebra Gradiante 2.

Líneas de distribución

Las tuberías de distribución del sector carretera suman una longitud de 7656,90 m.

A continuación, se observan detalles de las tuberías en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Características de las tuberías de distribución Sector Carretera				
Tipo	Longitud (m)	Diámetro (pulg)	Material	Cédula
Distribución	4559,29	4,00	PVC	SDR26
Distribución	54,09	0,50	PVC	SDR26
Distribución	310,76	2,00	PVC	SDR26
Distribución	1799,56	2,50	PVC	SDR26
Distribución	78,95	1,00	PVC	SDR26
Distribución	852,91	3,00	PEAD	SDR13,5
Total	7656,90			

Balance Hidráulico

Consumo por servicio

Actualmente, la ASADA cuenta con 100%, de micromedición, con aproximadamente 608 medidores instalados. Según la administración, el consumo promedio de las viviendas es de 28,04 m³ mensualmente. A continuación, en la Figura 16 se mostrará el gráfico de consumo mensual del año 2018.

Habitantes por servicio

Según los resultados generales del X Censo de Población y Vivienda 2011, el distrito de Santa Elena de La Cruz de Guanacaste posee un factor de hacinamiento 4,21 personas/casa.

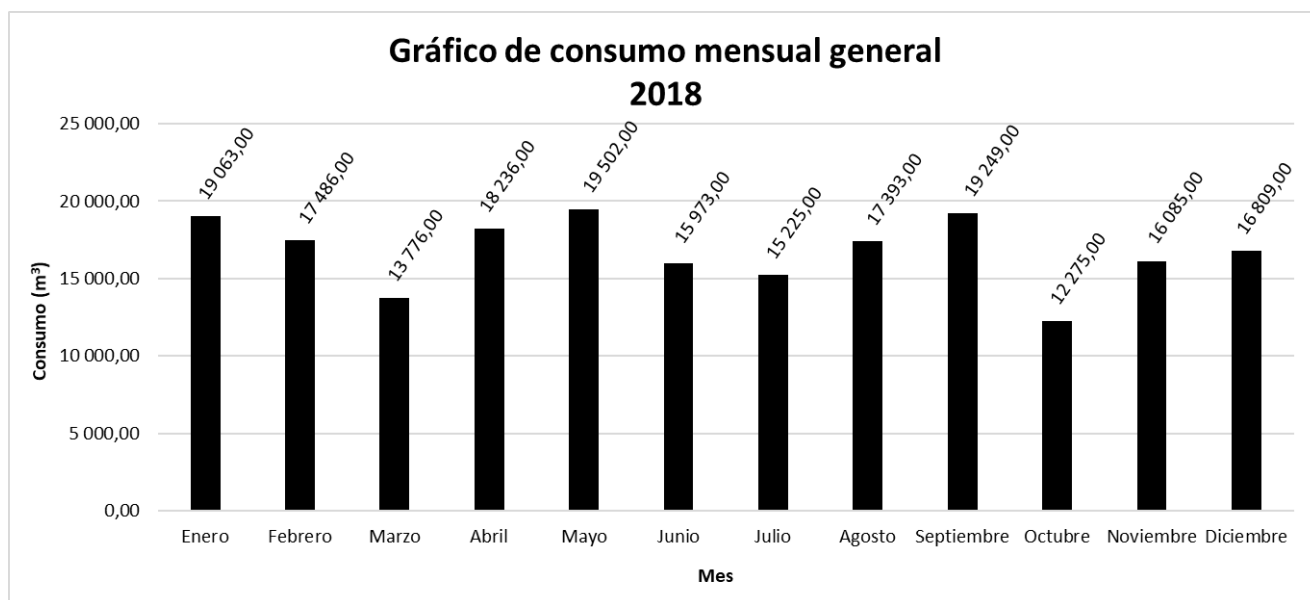


Figura 42. Consumo mensual general 2018

cantidad de personas abastecidas actualmente es de 2558.

Población servida

Tomando en consideración la información del sistema de cobro utilizado por la ASADA, a marzo del 2019 se cuenta con aproximadamente 608 abonados que se encuentran activos.

Por lo tanto, la población total se determina con la multiplicación de los servicios brindados por el factor de hacinamiento. Tal y como se puede observar en el Cuadro 16, la

Cuadro 16. Población abastecida por el acueducto		
Factores	Cantidad	Unidad
Cantidad de servicios	608,00	servicios
Factor hacinamiento	4,21	personas/casa
Población abastecida	2558,00	personas

Dotación

El acueducto de Cuajiniquil sí cuenta con la información de las dotaciones reales. Como se puede observar en el Cuadro 17, en promedio, la dotación corresponde a 218,53 litros/persona/día.

Cuadro 17. Determinación de las dotaciones mensuales			
Mes-2018	Consumo (m³)	Caudal (L/s)	Dotación (L/p/d)
Enero	19 063,00	7,35	248,41
Febrero	17 486,00	6,75	227,86
Marzo	13 776,00	5,31	179,52
Abril	18 236,00	7,04	237,63
Mayo	19 502,00	7,52	254,13
Junio	15 973,00	6,16	208,14
Julio	15 225,00	5,87	198,40
Agosto	17 393,00	6,71	226,65
Septiembre	19 249,00	7,43	250,83
Octubre	12 275,00	4,74	159,96
Noviembre	16 085,00	6,21	209,60
Diciembre	16 809,00	6,48	219,04
Máximo	19 502,00	7,52	254,13
Mínimo	12 275,00	4,74	159,96
Promedio	16 756,00	6,46	218,35

Para validar el uso del promedio, se realizaron pruebas de normalidad en el *software* RStudio (véase Cuadro 18).

Cuadro 18. Resultados pruebas de normalidad para la dotación	
Prueba de Normalidad	p-value
Shapiro Wilk	0,798
Anderson-Darling	0,863
Cramer-von Mises	0,880
Lilliefors	0,903
Pearson chi-square	0,672
Shapiro-Francia	0,826

Producción de las fuentes

Con el fin de determinar cuánto es el volumen de agua que está siendo ingresado al sistema, se utilizó un registro de aforos de noviembre del 2017 a febrero del 2019 (véase en Cuadro 19). Como nota aclaratoria con respecto a los aforos, la información recopilada corresponde a los datos de los caudales que llegan a las cajas de reunión; pues, en ese punto es donde los fontaneros realizan las mediciones cada mes.

Por otra parte, no se cuenta con la información de las pruebas de bombeo de los 3 pozos activos. Esto significa que los aforos que se están realizando determinan la capacidad de la bomba y no la producción de la fuente. No obstante, para efectos de poder determinar el volumen de agua que ingresa al sistema, es válido tomar dichos caudales.

El funcionamiento de los pozos del sistema de Cuajiniquil es automático; sin embargo, no cuenta con horómetro. Por eso, al calcular el volumen mensual de agua que trasiega la bomba, se tomó en consideración la opinión del fontanero Raúl Alemán, quien ha observado que la bomba se mantiene apagada únicamente durante las horas de la madrugada. Tomando en cuenta la experiencia del funcionario de la ASADA, se determina que la bomba funciona durante 19 horas al día.

Considerando lo anterior, se procedió con el cálculo correspondiente para determinar el caudal (L/s) y el volumen (m³) mensual de agua que ingresa al sistema. Los resultados se muestran a continuación. Lo denominado como QC (1,2,4,5, y 6) corresponde al caudal de las captaciones y QP (1,2,3 y 5) al de los pozos

Cuadro 19. Caudal producido por la fuente y volumen que ingresa a la red												
Mes-Año	Q C1 (L/s)	Q C2 (L/s)	Q C4 (L/s)	Q C5 (L/s)	Q C6 (L/s)	Q P1 (L/s)	Q P2 (L/s)	Q P3 (L/s)	Q P5 (L/s)	Q Total (L/s)	Volumen (m³)	
nov-17	1,13	1,47	0,99	1,19	0,75	5,02	-	2,28	4,22	17,05	37972,80	
dic-17	1,03	1,20	0,75	1,09	0,66	4,92	-	2,38	5,47	17,50	38464,20	
feb-18	0,74	1,16	0,72	1,10	0,74	4,74	-	2,32	5,70	17,22	37743,84	
mar-18	0,72	1,53	0,72	1,10	0,74	4,72	-	2,31	5,71	17,55	38610,00	
abr-18	0,57	1,24	0,74	1,06	0,71	4,50	0,94	2,03	5,22	16,07	35308,44	
may-18	0,67	1,23	0,75	1,07	0,72	4,76	1,20	2,37	5,67	17,24	37774,08	
jun-18	0,62	1,23	0,75	1,07	0,72	4,74	-	2,37	5,63	17,13	37521,36	
jul-18	0,57	1,20	0,70	1,49	0,75	4,60	-	2,30	5,74	17,35	38145,60	
ago-18	0,57	1,12	0,70	1,49	0,75	4,59	-	2,30	5,72	17,24	37876,68	
sep-18	0,56	1,01	0,62	1,60	0,84	5,01	-	2,34	6,15	18,13	39702,96	
oct-18	0,63	1,30	0,76	1,48	0,81	5,48	-	2,03	4,39	16,88	37326,96	
nov-18	0,62	1,27	0,77	1,47	0,82	5,45	-	2,04	4,42	16,86	37269,72	
dic-18	0,63	1,32	0,77	1,46	0,81	5,47	-	2,04	4,37	16,87	37311,84	
ene-19	0,54	1,12	0,68	1,42	0,73	4,61	-	2,24	4,30	15,64	34517,88	
feb-19	0,54	1,12	0,67	1,42	0,73	4,39	-	2,38	4,37	15,62	34471,44	
Máximo	1,13	1,53	0,99	1,60	0,84	5,48	1,20	2,38	6,15	18,13	39702,96	
Mínimo	0,54	1,01	0,62	1,06	0,66	4,39	0,94	2,03	4,22	15,62	34471,44	
Promedio	0,68	1,23	0,74	1,30	0,75	4,87	1,07	2,25	5,14	16,96	37334,52	

IANC

En el Cuadro 20, se observa el índice de agua no contabilizada (IANC). Este es el resultado de una

relación entre el volumen en el sistema y el resultado de la diferencia volumétrica.

Cuadro 20. Cálculo del Índice de Agua no Contabilizada				
Mes-2018	Volumen en el Sistema (m³)	Consumo (m³)	Diferencia volumétrica (m³)	IANC
Enero	-	19 063,00	-	-
Febrero	37 743,84	17 486,00	20 257,84	0,54
Marzo	38 610,00	13 776,00	24 834,00	0,64
Abril	35 308,44	18 236,00	17 072,44	0,48
Mayo	37 774,08	19 502,00	18 272,08	0,48
Junio	37 521,36	15 973,00	21 548,36	0,57
Julio	38 145,60	15 225,00	22 920,60	0,60
Agosto	37 876,68	17 393,00	20 483,68	0,54
Sept.	39 702,96	19 249,00	20 453,96	0,52
Oct.	37 326,96	12 275,00	25 051,96	0,67
Nov.	37 269,72	16 085,00	21 184,72	0,57
Dic.	37 311,84	16 809,00	20 502,84	0,55
Máximo	39 702,96	19 502,00	25 051,96	0,67
Mínimo	35 308,44	12 275,00	17 072,44	0,48
Promedio	37 690,13	16 756,00	20 934,13	0,56

Para validar el uso del promedio del IANC, se realizaron pruebas de normalidad en el software RStudio (véase Cuadro 21).

Cuadro 21. Resultados pruebas de normalidad para el IANC.	
Prueba de Normalidad	p-value
Shapiro Wilk	0,646
Anderson-Darling	0,667
Cramer-von Mises	0,693
Lilliefors	0,593
Pearson chi-square	0,672
Shapiro-Francia	0,691

Caudales de diseño

Con la población, la dotación y el IANC presentados anteriormente, se calcularon los siguientes caudales de diseño realizando proyecciones cada 5 años (véase Cuadro 22).

Cuadro 22. Determinación de los caudales de diseño					
Año	2018	2024	2029	2034	2039
Población	2558	3040	3615	4296	5105
Servicios	608	723	860	1022	1214
QPD (L/s)	10,09	11,99	14,26	16,94	20,13
QMD (L/s)	12,11	14,39	17,11	20,33	24,16
QMH (L/s)	21,79	21,58	25,66	30,50	36,24

Para determinar el BH final, con respecto a la producción total de las fuentes del sistema, se utilizaron los datos más críticos mostrados en el Cuadro 18, correspondientes a los aforos de cada fuente. De igual forma, para establecer el caudal, se seleccionó el QMD que es el de producción mostrado el Cuadro 21. Por otra parte, es importante destacar el QMH es el utilizado para consideraciones en la línea de distribución.

Por tanto, los resultados del BH y sus respectivas proyecciones son las mostradas en el Cuadro 23. Además, en la Figura 43 se mostrará el balance AWWA.

Cuadro 23. Resultados Balance Hidráulico del Acueducto de Cuajiniquil					
Año	Servicios	Demanda (L/s)	Producción (L/s)	Balance Hidráulico (L/s)	Interpretación
2018	608	12,11	14,40	2,29	ASADA cuenta con capacidad hídrica para nuevos servicios
2024	723	14,39	14,40	0,01	URGENTE: buscar nuevas fuentes
2029	860	17,11	14,40	-2,71	Desabastecimiento y racionamiento del servicio
2034	1022	20,33	14,40	-5,93	Desabastecimiento y racionamiento del servicio
2039	1214	24,16	14,40	-9,76	Desabastecimiento y racionamiento del servicio

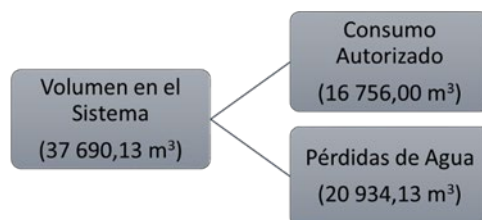


Figura 43. Resultados Esquema AWWA.

Volumen de almacenamiento requerido

El volumen mínimo de almacenamiento que debe tener Cuajiniquil en el presente se muestra en las siguientes ecuaciones.

Almacenamiento por regulación de consumo

Es el requerido para compensar las fluctuaciones horarias del consumo. Si no cuenta con las curvas de consumo reales, se calcula como el 14% del volumen promedio diario.

$$V_{reg} (m^3) = 10,09 (L/s) * 86,40 * 0,14 = 122,04 m^3$$

Volumen de reserva para interrupciones

Es el volumen que corresponde a un periodo de cuatro horas del caudal promedio diario.

$$V_{int} (m^3) = 10,09 (L/s) * 86,40 * (4/24) = 145,28 m^3$$

Almacenamiento para incendio

El volumen correspondiente a la dotación requerida en caso de incendios. Se calcula con lo especificado según la normativa técnica del AyA, la cual establece que, para todo punto de la red, la presión de servicio debe ser mayor o igual a 15 mca (1,5 kg/cm²). Por lo tanto, el volumen de almacenamiento requerido se calcularía de la siguiente forma:

$$V_{requerido}(m^3) = V_{reg} + V_{int} + V_{inc} = 122,04 + 145,28 + 15 = 282,32 m^3$$

Calidad del agua

El acueducto de Cuajiniquil cuenta con análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua en la Naciente #1, Naciente #2, Naciente #4, Naciente

#5, Naciente #6, Pozo #1 Pozo #3, Pozo #4 Pozo #5, Tanque #1, Tanque #2, Grifo Iglesia Skekinah, Grifo de Muelle Municipal y Grifo de Oficina ASADA (Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del laboratorio más recientes se adjuntan en los Anexos 1 y 2 al final del proyecto).

Se realizó el análisis mediante las hojas de cálculo del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH). Las pruebas de laboratorio realizadas recientemente son únicamente del tipo N1. Los resultados obtenidos corresponden al IRCACH, el cual determina que el agua de Cuajiniquil posee un Riesgo Bajo (RB), por lo que se clasifica según el código de colores como verde y por tanto es agua potable apta para el consumo (Un ejemplo de la hoja de cálculo utilizada en cada uno de los puntos muestreados se muestra en el Anexo 3). También, se identificó que no se cuentan con análisis tipo N2, N3 y N4.

Análisis espacial

Se elaboraron mapas en donde se ubican las tuberías de conducción, impulsión y distribución. Además de ubicar cada uno de los elementos detallados anteriormente, se observan los sectores de vulnerabilidad del sistema.

A continuación, en la Figura 44, a manera de ejemplo, se muestra una vista general de sistema. Sin embargo, cada uno de los mapas generados se encuentran en los Apéndices del 3 al 7.

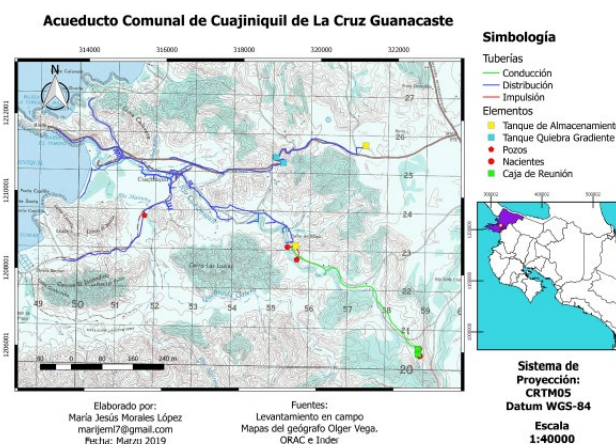


Figura 44. Vista general del sistema del acueducto comunal de Cuajiniquil.

Análisis de riesgos

Como resultado de la visita con el geólogo Blas Enrique Sánchez, se identificó que el área en estudio se localiza dentro de la cuenca del río Cuajiniquil. Los sitios visitados se ubican en zonas de protección de cauces y quebradas. Durante la vista de campo, se determinó que la topografía es plana-ondulada en sectores de pendiente baja y media. Según el Mapa de Amenazas Naturales Potenciales de la CNE, la

zona evaluada se encuentra en una región con potencial afectación por inundaciones generadas por el desbordamiento del río Cuajiniquil y afluentes (Sánchez, 2019).

En el Cuadro 24, se realiza un desglose de los puntos visitados con su respectiva localización y descripción. A continuación, se observarán cada uno de los puntos vulnerables.

Cuadro 24. Descripción puntos identificados como vulnerables en el sistema del Acueducto de Cuajiniquil			
Punto de interés	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Descripción
Punto 1	321 380	1 207 660	Paso sobre quebrada con una tubería de 4 pulgadas de PEAB que presenta una longitud de 10 metros de largo, con márgenes de pendiente media. Cauce confinado con alto potencial de arrastre y erosivo, tendencia a profundizar en la base y dejar tubería sin soporte. Además, la tubería está expuesta a impactos por bloques de roca o escombros.
Punto 2	321 497	1 207 586	Tubería en 4 pulgadas de HG, en paso sobre quebrada angosta, con soporte en márgenes y con una altura aproximada de 1,50 metros sobre el cauce. Tubería expuesta a impactos de bloques de roca o escombros.
Punto 3	320 586	1 207 816	Paso sobre quebrada con una tubería 4 pulgadas de PEAB que presenta una longitud de 12 metros de largo. El cauce está conformado por materiales erosionables, la línea está expuesta a ser arrastrada por la corriente, impactada por escombros o bloques de roca.
Punto 4	319 234	1 209 108	Paso sobre quebrada con una tubería de 6 pulgadas de PEAB que presenta una longitud de 10 metros de largo, el suelo está conformado por materiales fácilmente erosionables, por lo que la línea está expuesta a ser arrastrada por la corriente, impactada por escombros o bloques de roca. Toda la planicie en la que se encuentra es una zona con alto potencial inundable, estando a un alto nivel de exposición a la amenaza.
Punto 5	318 477	1 209 500	Paso sobre quebrada con una tubería de 6 pulgadas de PEAB que presenta una longitud de 5 metros de largo. El cauce está conformado por materiales arenosos, por lo que la tubería se encuentra expuesta a ser arrastrada por la corriente, impactada por escombros o bloques de roca. Planicie con alto potencial a inundaciones.
Punto 6	318 356	1 209 515	En estos puntos la tubería de PEAB está expuesta a un canal de dos metros de ancho, que constituye un desagüe que se ha erosionado y profundizado en el suelo el cual está conformado por un material arcilloso arenoso, que es erosionado fácilmente, socavando el cimiento de la tubería con alta probabilidad de dañarla. Los puntos 6 y 7 cuentan con una tubería de 6 pulgadas de diámetro, posteriormente hay una reducción a 4 pulgadas al punto 8.
Punto 7	317 856	1 209 637	
Punto 8	317 703	1 209 711	



Figura 45. Sitio punto de interés 1.



Figura 48. Sitio punto de interés 4.



Figura 46. Sitio punto de interés 2.



Figura 49. Sitio punto de interés 5.



Figura 47. Sitio punto de interés 3.

Figura 50. Sitio punto de interés 6.



Figura 51. Sitio punto de interés 7



Figura 52. Sitio punto de interés 8.

Infraestructura resiliente

Al hacer referencia a una infraestructura resiliente, se debe considerar un análisis integral. Por ello, mediante el diagnóstico de la infraestructura existente, se analizó el contexto de la zona de Cuajiniquil, viendo todo el sistema como un conjunto con un determinado alcance y objetivos por cumplir; por ejemplo, el de llevar agua potable a la comunidad.

Al saber cómo es la infraestructura, qué amenazas se presentan y al discernir los elementos más vulnerables, se comienza a analizar la resiliencia del sistema. La valoración se

realiza a partir de los tipos de vulnerabilidades mencionadas con anterioridad y se analiza la exposición de la infraestructura, sensibilidad, capacidad de respuesta de los entes involucrados, así como la resiliencia socioeconómica de la comunidad ante un evento adverso.

Según los puntos identificados, se propone realizar para los tramos más largos de 10 y 12 metros de claro (puntos 1,2,3,4,5 y 8) y con una ubicación transversal al cauce del río, la colocación de un puente elevado con el fin de elevar la tubería al menos 2 metros sobre el tirante más crítico del río mediante anclajes en los márgenes y estructuras metálicas. Se proponen dos tipos de puentes: tipo tubo y colgante (ver diseños utilizados en el AyA en Anexos 4 y 5). Sin embargo, es relevante destacar que son propuestas preliminares y que para definir diseños finales se deben de realizar los estudios de suelos, hidrológicos, hidrogeológicos y demás análisis específicos que correspondan.

Para los puntos 6 y 7, se propone realizar una zanja para enterrar la tubería. En estos dos puntos, no hay que considerar la exposición por tráfico de personas o vehículos ya que la tubería no pasa por la carretera. Sin embargo, lo recomendado según la Norma del AyA sería colocar la tubería a un mínimo de profundidad de 0,80 m sobre la corona del tubo con el fin de prevenir la erosión o daños en la tubería por el arrastre de materiales que puede provocar el río en época lluviosa.

Determinación de costos

Con el fin de seleccionar la opción más viable desde la perspectiva económica, se determinó el costo de los dos tipos de puentes elevados para tubería de agua potable que comúnmente se construyen en el AyA: el puente tubo y el puente colgante (Ver detalles en Figura 53 y 54.). Para efectos de los datos utilizados de referencia en las hojas de cálculo a la hora de determinar los costos de cada puente, se contó con la colaboración de los ingenieros de la oficina de la Región Chorotega de la ORAC.

Se determinó que el costo de un puente colgante es de ₡5 576 308,93 y del puente tipo de tubo de ₡6 868 115,86 (ver desglose de presupuesto en los Apéndices 8 y 9). Por lo tanto, la opción más económica es el puente tipo colgante, razón por la cual se selecciona como

diseño para los 6 puntos críticos del acueducto de Cuajiniquil. De esta manera, la inversión total es de \$33 457 853,59.

Además, se propone realizar la excavación de los dos tramos de tubería (puntos 6 y 7) de manera manual; pues, el sitio en el que se ubican no presenta accesibilidad para la maquinaria. Esto implicaría únicamente como gasto las horas que trabajen los colaboradores en ambos tramos de tubería.

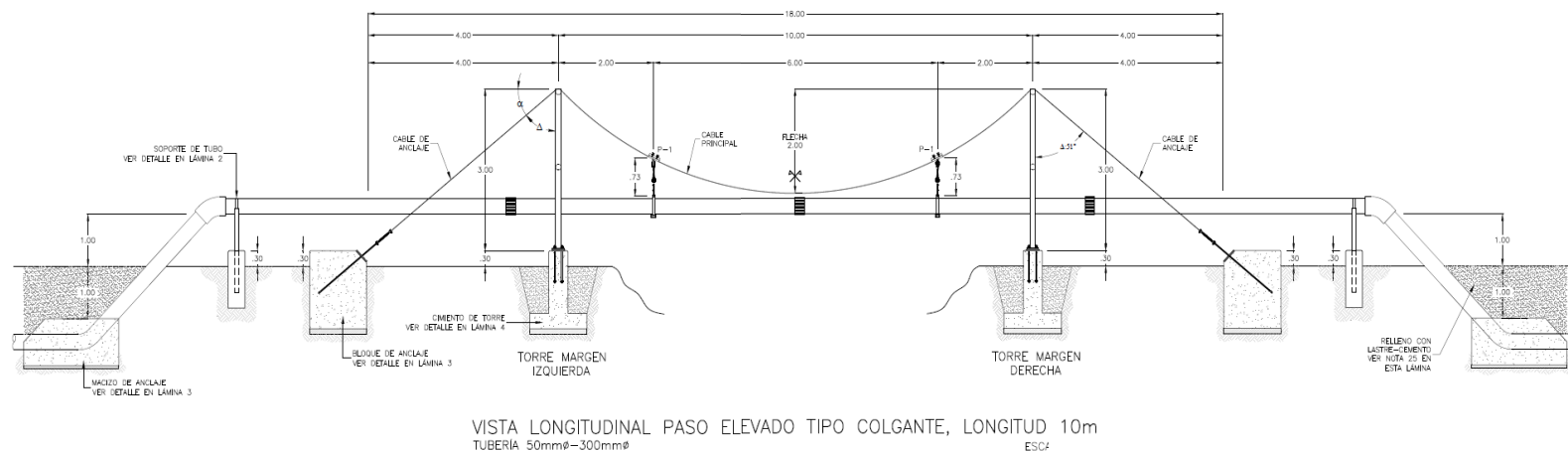


Figura 53. Diseño tipo de un puente elevado tipo colgante para tubería de agua potable. Fuente. Planos brindados por el AyA, 2018.

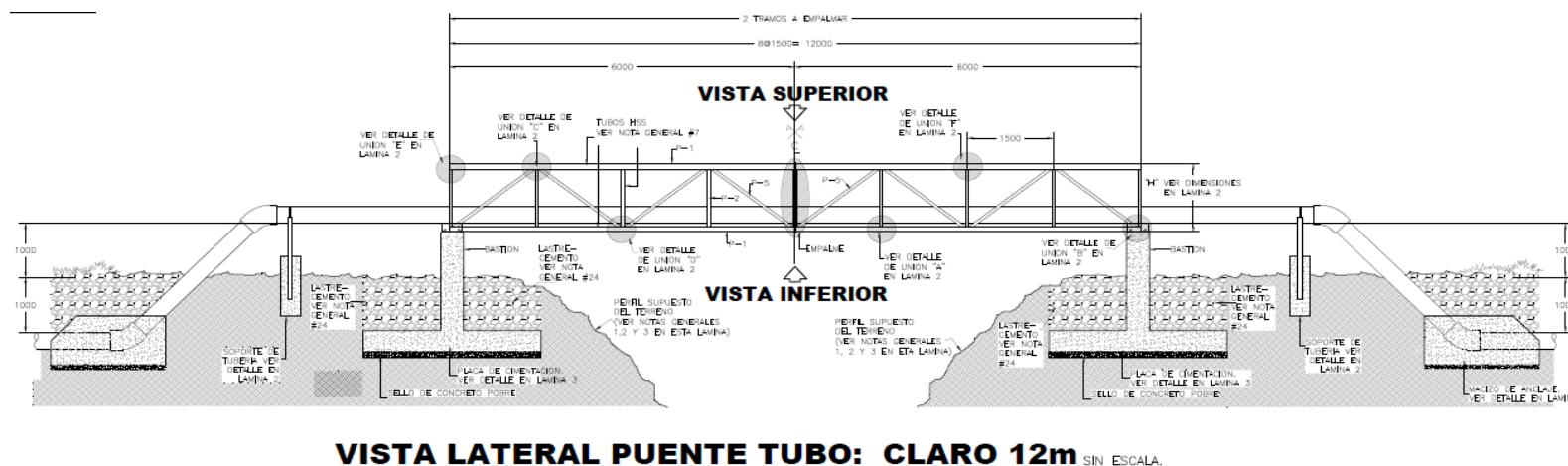


Figura 54. Diseño tipo de un puente elevado tipo tubo para tubería de agua potable. Fuente. Planos brindados por el AyA, 2018.

Alcances y limitaciones

Los alcances y limitaciones que se contemplaron en el desarrollo de este estudio se enumeran a continuación:

- De la “Guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura en ASADAS” esta investigación se enfocó por la limitación del tiempo, en el capítulo de diagnóstico.
- Información existente en instituciones públicas y la de las ASADAS estaba desactualizada. Además, por la pérdida de información de los registros físicos de la ASADA durante la tormenta Nate, no se cuenta con información histórica de más de 1,5 años de antigüedad.
- Los análisis de calidad de agua se deben presentar en los niveles N1, N2, N3 y de ser necesario, según lo especificado en la norma, de tipo N4. Sin embargo, la ASADA únicamente presenta los análisis actualizados en el nivel N1 y el proyecto no cuenta con los recursos para generar durante este estudio los otros niveles de análisis.
- La ASADA no cuenta con macromedición por lo que el volumen de agua que ingresa al sistema se determinó con los caudales de los aforos realizados durante el último año en las fuentes de agua.
- La información detallada de servicios de cada sector, número de personas por vivienda y de más, se está recopilando en la actualidad mediante un censo que inició en febrero. La información no estará completa durante el tiempo del presente proyecto.
- Los archivos de tipo “shapefile” que se han generado a nivel nacional, en materia de riesgos, se encuentran a gran escala por lo que el análisis a nivel local no se pudo realizar desde la plataforma de QGIS.
- La herramienta en desarrollo del PNUD para la Gestión Integral del Riesgo cuenta con limitaciones por estar en su fase de construcción; por esta razón, a la hora de aplicar la herramienta en la ASADA de Cuajiniquil no brindaba los insumos suficientes para realizar una valoración del nivel de vulnerabilidad de la infraestructura. Debido a esto, se realizó una consulta directa a la comunidad sobre los puntos de riesgo y se visitó el sitio con un geólogo especialista en análisis del riesgo de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) para hacer una valoración en sitio.
- No se realizarán estudios específicos de suelos, hidrológicos, hidrogeológicos, entre otros que correspondan para obtener los diseños específicos de los puentes elevados para tubería propuestos de manera preliminar.

Análisis de los resultados

Recopilación de información

Durante este proceso, se logró identificar una deficiencia generalizada entre todas las instituciones involucradas en las gestiones de acueductos comunales. Esta es la falta de sistematización de la información y no tenerla de manera digitalizada al servicio de la comunidad o instituciones que la necesiten.

Además, son inexistentes los registros históricos a nivel administrativo como cobros de tarifas, el crecimiento de servicios abastecidos, cantidad de usuarios por conexión y el control de las viviendas realmente abastecidas por micromedidor, entre otros. En Cuajiniquil, desde hace dos años cuentan con un sistema de facturación en el cual llevan un control del volumen de agua consumido y los servicios que pagan mensualmente; sin embargo, no es un reflejo certero de la realidad de la comunidad.

Desde la perspectiva de la infraestructura del acueducto, se realizaron diagramas (Figura 25) mediante los cuales se podrán identificar: el material, diámetro, cédula y longitud de las tuberías, así como los elementos principales del sistema con sus respectivas características y elevaciones. Actualmente dicha información solo la conocen los fontaneros, factor que representa un riesgo para el acueducto; pues, todo el conocimiento sobre este lo conocen pocas personas.

Esto permite afirmar que la recopilación de información realizada es valiosa en el sentido que uno de los factores más importantes por considerar en las ASADAS es la constante rotación de los miembros de la directiva. Por lo tanto, al tener bases de datos, diagramas y un informe de diagnóstico que explique la situación

más actualizada del acueducto y las situaciones por las que ha pasado este, permitirá que la memoria histórica del acueducto de Cuajiniquil no se pierda;

además, promoverá la posibilidad de transmitir la información a las nuevas generaciones sin perder continuidad y excelencia en la gestión que realizan.

Levantamiento Topográfico

En los puntos de captación del Sector Cuajiniquil, se debe realizar un mantenimiento de las captaciones 3, 4, 5 y 6 (Figuras 28, 29, 30 y 31), pues, al hacer la visita al sitio se identificó que estaban en buen funcionamiento; sin embargo, a nivel interno, se debía incrementar la frecuencia de limpieza para evitar la generación de microorganismos que puedan contaminar el agua captada.

Por otra parte, durante la inspección visual se identificó el uso de las tapas recomendadas según la normativa AyA. Las estructuras se encuentran correctamente pintadas (a pesar de que siempre se recomendará estar recubriendo constantemente y más que es una zona que presenta humedad). Por último, todas las captaciones contaban, excepto la captación 2 (Figura 27.), con un muro de retención para evitar deslizamientos y que se aterre la naciente.

Los pozos se encuentran en buenas condiciones, con su respectivo cierre perimetral (Figuras 33, 34 y 35) y ubicados en terrenos a nombre de la ASADA. Es importante destacar que pocas veces se hacen los traspasos de las propiedades a nombre de la asociación, lo cual representa un inconveniente ya que al pasar el

tiempo los dueños de las propiedades cambian y no existe ninguna seguridad de que no vayan a generar problemas debido a la infraestructura que pasa por medio de la propiedad, servidumbres y demás. Considerando esta situación, se debe velar por tener inscritas todas las propiedades a nombre de la ASADA.

En la actualidad, según lo inscrito en el Registro Nacional, la ASADA tiene a su nombre únicamente dos propiedades con los números de finca: 5-00015226 (277,76 m²) y 5-00052758 (5000 m²).

Otra característica relevante sobre los terrenos en los cuales se ubica la infraestructura es que las nacientes y la servidumbre de la conducción se encuentran dentro del Parque Nacional Santa Rosa. Por esto, dichos terrenos nunca se van a poner a nombre de la ASADA; sin embargo, existe un pronunciamiento del Ministro Carlos Manuel Rodríguez como respuesta al oficio DM-136-2018 emitido por la Procuraduría General de la República que faculta a las asociaciones a dar mantenimiento dentro del área protegida, ya que dicha infraestructura estuvo de previo a la creación de dicho Parque Nacional, Reserva o el tipo de Área Protegida que corresponda.

Por otra parte, no se cuenta con las pruebas de bombeo de los pozos, razón por la cual se desconoce cuánta es la producción real de cada uno, pues solo se tienen los caudales (L/s), tal y como se muestra en el Cuadro 10. Estos datos representan la capacidad de la bomba y la cantidad de agua que le ingresan al sistema. Para efectos del trabajo, se tomó como información de la producción los aforos, pero no se pierde de vista el hecho de que se deberán realizar las respectivas pruebas de bombeo en cada uno de los pozos con el fin de saber con cuánta capacidad se cuenta.

Los tanques de almacenamiento (Figura 37 y Figura 38) se encuentran en buenas condiciones; sin embargo, hay un tanque que posee 35 años de antigüedad por lo que es necesario un mantenimiento preventivo; pues, es probable que se encuentre dentro de su vida útil.

Con respecto a las tuberías, se identificó que hay constantes cambios de materiales durante la línea de conducción (como se observa en el cuadro adjunto en el Apéndice 2) y parte de la distribución. Por lo tanto, es ideal reforzar conexiones con el fin de evitar pérdidas de agua por acoples mal elaborados. Otro punto para corregir y que afecta la operación de la línea es

que las tuberías están instaladas de manera superficial y no a los 80,00 cm recomendados, con lo cual presentan una mayor exposición a las amenazas.

Al determinar las coordenadas, elevaciones y las longitudes se identificaron diferencias con respecto a las conocidas por los miembros de la ASADA y la ORAC. Se considera necesario que los ingenieros encargados en las verificaciones de la situación actual de los acueductos comunales cambien los GPS Garmin que utilizan en la actualidad por instrumentos de mayor precisión que ayuden a brindar información real a las comunidades.

Por ejemplo, en muchas ocasiones el agua no llega a algunos puntos de la comunidad por haber decidido construir el tanque en un lugar que no cumplía los 15 metros columna de agua de diferencia de altura mínimos establecidos por la norma de diseño y construcción de sistemas de agua, saneamiento y pluvial. El lugar aprobado por una inspección de algún profesional que utilizó un equipo de baja precisión induce al error; por esta razón, pequeños cambios en la utilización del equipo pueden evitar errores a futuro que implican una afectación socioeconómica en operación y reconstrucción.

Balance Hidráulico

La Figura 42 muestra un gráfico mensual de consumo (m³) del año 2018, siendo el mes de mayo (uno de los más secos del año) en el que más se consume agua con 19 502,00 m³ y en octubre (mes lluvioso) el mes en el que menos se consume agua con 12 275,00 m³. Esto demuestra un comportamiento muy marcado del usuario; pues, en Guanacaste es común que las personas durante la época seca utilicen agua potable para regar la calle con el fin de reducir el polvo, por plantear un ejemplo.

Según el Cuadro 16, la población abastecida por el acueducto es de 2558 personas. Con respecto a esta población, el consumo promedio anual de las viviendas es de 28,04 m³ mensualmente.

En el Cuadro 17, se muestran las dotaciones mensuales que fueron calculadas mediante la conversión del caudal de m³ a litros/día y dividiendo el resultado anterior por la población abastecida, por lo que el promedio de la

dotación corresponde a 218,35 L/p/d. Se realizó una prueba de normalidad de los datos para validar el uso del promedio. En el Cuadro 18, se muestra cómo los datos son mayores a 0,05, por lo cual se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto, el conjunto de datos posee un comportamiento normal.

Los caudales en (L/s) de producción de las fuentes se obtuvieron, tal y como se muestra en el Cuadro 19 a partir de valores máximos (críticos), mínimos y promedios en cada una de las captaciones con el fin de determinar cuánto es el volumen de agua disponible que ingresa al sistema. El caudal promedio correspondiente a las Captaciones 1, 2, 4, 5, 6 y Pozos, 1, 2, 3 y 5 son consecutivamente las siguientes en L/s: 0,68, 1,23, 0,74, 1,30, 0,75, 4,87, 1,07, 2,25, 5,14, 16,96.

Es importante destacar que los valores finales de volumen (m³) consideran el tiempo de bombeo de los pozos que son 19 horas (tiempo que no es preciso ya que no hay instrumentos que determinen el volumen incorporado de la bomba). Este es un dato relevante, ya que al no considerar dicho valor el IANC se podría incrementar al estar considerando agua que ingresa al sistema que en la realidad no se ha bombeado.

IANC

En el Cuadro 20, se determina el resultado del Índice de Agua no Contabilizada, cuyo promedio corresponde a 0,56 dato que va en concordancia con lo establecido para el promedio en Costa Rica de 0,51 (AyA, 2018b). Se evidencia una pérdida de más de la mitad del agua que ingresa al sistema. Sin embargo, dicho promedio lo que refleja es la realidad de los acueductos de la GAM que son más grandes y presentan mayores problemas.

Según el 0,30 utilizado por la ORAC de la Región Chorotega, el valor de ANC de la ASADA de Cuajiniquíl está por encima del promedio en regiones rurales, lo cual puede representar varias opciones. La primera es que efectivamente las tuberías están perdiendo un poco más de la mitad del agua que ingresa al sistema y que al no existir mantenimiento constante de estas, ni instrumentación para identificar los puntos de pérdida, no hay mecanismos de reducción; por el contrario, tiende a aumentar. Además, no se puede saber si los pozos funcionan efectivamente las 19 horas.

Por otro lado, es relevante mencionar los errores humanos que se cometen al tomar las mediciones de los aforos. Pues, los datos recolectados de producción de las fuentes se tomaron como verdaderos y no hay manera de saber a ciencia cierta si cada una de la toma de mediciones se realizó de la forma correcta.

Desde ese punto de partida, pueden arrastrarse errores mediante los cuales se amplifique el dato del ANC obtenido, por lo que el escenario ideal correspondería a incorporar macromedición en las fuentes, tanques y por sectores. Además de tener una toma de datos de los aforos desde las captaciones y uniformar mediante capacitaciones, la manera en la que se toman los datos con el fin de asegurar que paulatinamente se va a ir reduciendo la incertidumbre y mediante herramientas estadísticas como RStudio hacer pruebas sencillas de normalidad de los datos para poder saber que a pesar de alguna equivocación cometida en la manipulación de la información el conjunto de datos tienen un comportamiento normal y que no se está trabajando con información poco confiable.

Es de vital importancia instrumentar o realizar un control más riguroso con el fin de identificar en dónde se está perdiendo agua e intentar reducir lo más que se puedan las pérdidas, además de incorporar macromedición para tener seguridad del volumen de agua que ingresa al sistema. En la actualidad, no hay programas aplicados de Reducción de Agua no Contabilizada y Eficiencia Energética (RANC-EE), pero no están aplicados en regiones rurales. Por esta razón, empezar a reducir consistentemente el agua no contabilizada también en ASADAS y los Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAARs) es un paso importante para el desarrollo y visibilización de la gestión comunitaria del agua.

En el Cuadro 21, se visualizan las pruebas de normalidad realizadas en RStudio para el IANC mediante las cuales se determina que el conjunto de datos posee un p-value mayor 0,05. Esto significa que se acepta la hipótesis nula validando la normalidad de los resultados; por lo tanto, el valor promedio representa a la mayoría de los datos y se puede utilizar el valor sin ningún inconveniente de alterar los resultados.

Caudales de diseño

Al calcular los caudales de diseño tal y como se muestran en el Cuadro 22, no se contó con curvas de consumo. Por ello, se tomaron en consideración los factores recomendados por norma. Para determinar el Caudal Máximo Diario (QMD) se tomó un 1,2 del Caudal Promedio Diario (QPD) y para el Caudal Máximo Horario (QMH), un 1,8. De esta forma, considerando las horas “pico” u horas críticas de consumo, se determinó de manera conservadora el QMD (12,11 l/s) y QMH (21,79 l/s) durante el 2018.

El caudal utilizado para el cálculo del Balance Hidráulico es el QMD, ya que se cuenta con tanque y es el valor correspondiente a la producción más el 20% de agua de las horas de mayor consumo que corresponde a la cantidad de agua más acorde al comportamiento volumétrico de un acueducto.

En el Cuadro 23, se observa el resultado del Balance Hidráulico, el cual da un valor positivo de 2,29 l/s. Esto significa que la producción actual es mayor en esa cantidad a la demanda de la comunidad. Es importante reflexionar sobre que la diferencia existente no es muy elevada; pues, la variación porcentual entre lo que la población está consumiendo y lo que se produce es apenas un 20,00%.

Por lo tanto, se realizó una proyección, desde la suposición de que la producción de las fuentes va a permanecer constante a futuro. Se decidió seleccionar dicha premisa debido a que no existen modelaciones hidrológicas, de comportamiento del agua subterránea.

Se decidió realizar de manera representativa una proyección de la demanda considerando el crecimiento vegetativo establecido por el INEC de la zona en estudio y el dato de la producción como una constante. Se presentan distintos escenarios interesantes en los que a 5 años el BH es prácticamente 0,00 denotando un consumo igual a la producción y en un rango de 10 a 20 años la comunidad debe de tomar medidas para racionar el servicio debido al crecimiento de la demanda con respecto a lo que las fuentes probablemente vayan a producir.

Por lo tanto, al plantear posibles escenarios tomando en consideración la opción intermedia de dejar constante la producción y no disminuir o bien por medio de medidas de conservación que vayan a aumentar los litros por

segundo de las fuentes, se plantea la necesidad de tener medidas de prevención ante el estrés hídrico que puede vivir la comunidad a corto o mediano plazo.

Asimismo, se proponen opciones de reforestación, campañas de concientización como soluciones preventivas. Además, se recomienda la habilitación del pozo del sector murciélagos de 10 l/s que no está conectado al sistema y del pozo del sector carretera que se encuentra inhabilitado y en conjunto con la reducción del ANC empezar a generar acueductos con una mayor resiliencia ante un escenario climático tan incierto.

Volumen de almacenamiento

El volumen requerido actualmente es inferior al volumen con el que cuenta el sistema (200,00 m³) por lo que el tanque del sistema no cumple con las necesidades actuales de 282,32 m³. Es recomendable contar con más almacenamiento en el sistema, por lo cual se requiere la pronta rehabilitación del tanque ubicado en el sector carretera, así como la construcción del futuro tanque que se ubicará por el sector Murciélagos el cual se deberá interconectar al sistema para ese almacenamiento pueda estar disponible para toda la población.

De esta forma, se abastecerán los barrios con mayores problemas en épocas secas. Además, se estará preparando a la comunidad para un futuro crecimiento poblacional como con la Urbanización Nueva Esperanza o el proyecto del INDER ambos localizados de manera respectiva en los dos sectores mencionados con anterioridad.

Calidad del agua

Propiamente el resultado determina que el agua es apta para la ingesta, pero susceptible al deterioro por calidad. Esto quiere decir que el cloro no es suficiente para evitar posibles contaminaciones del agua de la red ya que el cloro residual tiene una función de “protección”. También, se debe implementar control de calidad; es decir, según la frecuencia recomendada, se deben de realizar los demás niveles (N2, N3 y N4) de los análisis y se debe cumplir con la frecuencia establecida en el Decreto 41499-S para una comunidad con

población menor a 5000 habitantes como la de Cuajiniquil.

Análisis espacial

Los mapas realizados son un insumo valioso para la comunidad con el fin de que identifiquen a grandes rasgos la ubicación y las características de cada uno de los elementos del acueducto que administran. Al tener todos los datos actualizados en un SIG, la información queda respaldada y dispuesta a actualización y cambios cuando los realicen en los próximos años.

El uso de las herramientas como QGIS facilita la toma de decisiones; pues, es posible emplearlas para analizar espacialmente fenómenos extremos de origen natural o sociales desde una perspectiva geográfica.

Además, uno de los factores relevantes en este proyecto es la simpleza con la que se le debe de presentar la información a la comunidad ya que al generar insumos siempre se debe de tener en consideración el público meta para el que se está trabajando, por lo que programas intuitivos y que tengan una componente espacial son más sencillos de comprender y analizar junto con los miembros de la Junta Directiva y corresponden a opciones factibles para capacitar y transmitir la información.

Análisis de riesgos

Al iniciar el proyecto se pretendía utilizar para la recopilación de la información de riesgos una herramienta denominada GIRA (Gestión Integral de Riesgos y Amenazas), la cual se encuentra en desarrollo en el Programa de Fortalecimiento de Asadas del PNUD.

El objetivo consistía en usarla como caso de estudio en Cuajiniquil, la herramienta está constituida por una serie de cuestionarios con respecto a los siguientes 4 ejes: Vulnerabilidad Operativa, Sanitaria, Administrativa e Infraestructura. En cual, dependiendo de la respuesta de los miembros de la comunidad, se utilizaban los pesos relativos de las respuestas de cada uno de los ejes anteriores otorgándoles un porcentaje y clasificando según el nivel de

vulnerabilidad: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta el acueducto.

El inconveniente principal de la herramienta es que no se generan los documentos de respaldo de la información ingresada en el Excel, por lo que no se sabe cuáles fueron las respuestas y no se tiene ningún respaldo de dicha información. Al ser un problema técnico, la responsabilidad recae propiamente en los desarrolladores de la herramienta, por lo que se optó en no utilizar el GIRA y proceder a realizar una consulta más específica.

Durante el primer recorrido en la comunidad, se identificó el comportamiento estacional del río Cuajiniquil ya que durante todo el trayecto de las tuberías no se observó el mismo ya que se encontraba seco en su mayoría. Río que hace unos meses, según lo informado por los habitantes, creció hasta un máximo de 10 metros de altura causando una afectación importante en la infraestructura y bienes inmuebles de la comunidad.

También se identificaron junto con los dos fontaneros los puntos del sistema más vulnerables y se trazaron polígonos (en capas vectoriales en la herramienta SIG empleada) de riesgos tomando en consideración el tramo de tubería que se tuvo que reconstruir con polietileno, sumando un total de 8 tramos vulnerables. Al tener la información en QGIS, se quería realizar un análisis espacial tomando capas de riesgos de inundación, deslizamientos, sequía y demás fenómenos que se generaron en el proyecto de fortalecimiento de ASADAS del PNUD mediante una consultoría con la geógrafa María José Molina y del CNE.

A lo que se encontró una limitación, en el sentido de que la mayoría de las capas en materia de riesgos generadas en Costa Rica, no presentan una escala para hacer análisis locales por lo que al superponer los archivos que se tenían a disposición en el GIS, todo el sector de Cuajiniquil y los alrededores salía marcado de un solo color denotando que efectivamente el sector se ubica en una zona de riesgo, pero no permitía asociar los distintos tramos de la tubería con amenazas específicas.

La información proveniente de las estaciones meteorológicas con la que se cuenta en el país, a pesar del mandato de la Contraloría General de la República de que todas las instituciones del Estado deben de tener acceso libre a la información no se cumple, ya que el proceso de solicitud no es atendido o se tardan

meses para que una persona particular pueda obtenerla. Por lo que se optó en hacer el análisis únicamente con los insumos brindados por la comunidad y el geólogo de la CNE.

A partir del ejercicio de consulta se identificaron las principales amenazas de la comunidad: incendios forestales, lluvias excesivas en invierno y sus fenómenos asociados como las inundaciones y deslizamientos debido a la sobresaturación del suelo; así como períodos secos prolongados. El sector no se encuentra en una zona volcánica y a pesar de que todo el país se encuentra en una zona de riesgo con respecto a la variable sísmica, Cuajiniquil no es una comunidad con alta vulnerabilidad en estas dos últimas variables mencionadas.

Como se mencionaba con anterioridad el mejor ejemplo que dan los miembros de la comunidad es la Tormenta Nate, ya que es el caso más crítico y reciente vivido en la comunidad. Por otra parte, al ser una zona cuya actividad productiva principal es la pesca, la agricultura no se da de forma expansiva por lo que la contaminación de los acuíferos por agroquímicos no constituye una amenaza.

Sin embargo, se le debe prestar atención al fenómeno de salinización ya que los pozos son profundos, están cercanos al mar y su explotación es desmedida, aunado a que en la zona se perforan sin sus estudios técnicos y permisos requeridos. Como por ejemplo en las zonas costeras es ideal contar con información de estudios hidrogeológicos del acuífero, para monitorear cuál debe ser la profundidad máxima a la que puede estar el nivel del agua sin llegar a que se salinice el pozo.

Infraestructura Resiliente

Según lo identificado anteriormente en el Cuadro 24., cada uno de los puntos presenta condiciones en las que la vulnerabilidad de la tubería es alta. Se analizó la incidencia del CC sobre la infraestructura durante su operación y respectivo mantenimiento, ya que durante los períodos secos prolongados la producción de agua disminuye y se debe de planificar con anticipación el almacenamiento de agua de reserva.

De igual forma la prevención en épocas lluviosas no solo implica tomar en cuenta el proceso post desastre, sino que se debe de hacer desde la construcción de la infraestructura y

considerando el historial climático y ambiental de la zona.

Análisis de Costos

Tal y como se observó se realizó una comparación del costo de construcción de los puentes elevados, siendo el más económico el puente colgante. De igual forma es relevante hacer la comparación de dicha inversión con lo que implicaría reconstruir los tramos de tubería sino se elevan o entierran (según corresponda), pero en una condición de emergencia considerando el escenario de que no se toman las recomendaciones y las tuberías se ven nuevamente afectadas por una amenaza como por ejemplo una tormenta tropical.

En este escenario de emergencia comúnmente se vuelve a reconstruir la vulnerabilidad de la infraestructura y los costos de materiales, mano de obra se elevan por el factor tiempo y la disponibilidad inmediata requerida. Cuando se interviene una comunidad por motivos de afectaciones por eventos naturales extremos, por lo general, se empieza con la reconexión de los servicios esenciales. En el caso específico del agua, la mayoría de las actividades productivas se suspenden hasta que se logre reconectar el servicio.

El procedimiento de reconexión en Costa Rica todavía no cuenta con un protocolo obligatorio de limpieza del sistema de previo a la reconexión, para asegurarse que el agua que se está administrando a las viviendas está entrando a tuberías completamente limpias y que no van a existir problemas por el consumo de agua con lodos, por plantear un ejemplo. Las personas enfermas por consumir agua que no es potable le cuestan a la CCSS aproximadamente ₡ 387 000 por persona por día por presentar enfermedades diarreicas, vómitos, bacterias, entre otros.

Por otra parte, el sector educativo suspende sus servicios ya que si no hay agua no se abrirán las escuelas y colegios, lo que implica un costo para el Ministerio de Educación Pública del estar pagando salarios de funcionarios y funcionarias que no están dando clases de en promedio de ₡250 000 por profesor o profesora.

Además, según lo conversado con una profesora de una escuela de un pueblo rural cada vez que se suspenden clases por varios días o semanas, por lo general siempre hay de 3 a 4

niños, como mínimo, que no vuelven a clases porque la familia los deja trabajando para colaborar con los gastos y con más razón no vuelven si se tuvo afectación económica con el fenómeno ocurrido.

No se puede dejar de lado al sector pesquero de la zona que es una de las principales fuentes de ingresos económicos, el cual también se ve significativamente afectado ante alguna falla en la infraestructura de agua potable. Cuando se paraliza el sector productivo, los comercios también lo hacen ya que no hay dinero para comprar y no se dinamiza el sector.

Tal y como lo planteaba un artículo de la Universidad de Costa Rica sobre las debilidades estructurales que deja en descubierto la tormenta Nate, los efectos de los desastres tocan directamente las bases de las finanzas públicas y en casos de emergencia se destinan fondos para la rehabilitación y reconstrucción de esta forma pausando su crecimiento económico real ya que se sacrifican proyectos de desarrollo previamente planteados a corto y mediano plazo para mejorar las condiciones de la comunidad en general.

La gestión del riesgo no está incluida en la política pública, a pesar de que los montos por

atención a emergencias son elevados como por ejemplo en la tormenta Nate siendo el financiamiento por parte de la CNE de 380 millones de colones, monto que suma al alto déficit fiscal del país, lo que agrava la situación con cada emergencia.

Los sectores en condición de mayor exclusión social son los que se ven más afectados por los desastres naturales ya que se ubican, geográficamente hablando, en zonas con una mayor exposición y su nivel de vulnerabilidad ante una probable amenaza aumenta.

Las zonas rurales y costeras históricamente han sido parte de ese grupo de población que no se toma en consideración en procesos de planificación económica y social, sin embargo, esto debe de cambiar ya que al considerarlos de una manera más participativa se toman en cuenta sus demandas y recomendaciones para la atención de las zonas vulnerables desde una perspectiva más cercana y sincera.

Conclusiones

- La recopilación y sistematización de la información referente a un Acueducto Comunal es una acción que se debe de implementar en todas las ASADAS. De esta forma se recupera la memoria histórica del Acueducto y se permite realizar cambios generacionales de los miembros de la asociación sin incurrir a que el acceso a la información sea una limitante.
- De manera general los elementos como: captaciones, caja de reunión, tanques de almacenamiento y quiebra gradientes se encuentran en buen estado físico y operativo. Sin embargo, los terrenos en donde están ubicados no todos se encuentran a nombre de la ASADA y con el cierre perimetral reglamentado.
- Con respecto a las tuberías se identificó que hay constantes cambios de materiales y diámetros durante la línea de conducción y al inicio de la distribución, debido a una ausencia de gestión de infraestructura del acueducto.
- La dotación promedio obtenida corresponde a 218,35 L/p/d, basándose en una población abastecida de 2558,00 personas.
- El Índice de Agua No Contabilizada corresponde a un 56,00%.
- El Balance Hidráulico obtuvo como resultado un valor positivo de 2,29 L/s lo que significa que la producción actual es mayor a la demanda.
- El volumen de almacenamiento actual de 200 m³ es menor al requerido de 282,32 m³.
- El agua del acueducto es apta para la ingesta, según los resultados del Índice de Riesgo de la Calidad de Agua Potable para Consumo Humano en Costa Rica.
- El uso de sistemas de información geográfica facilita el manejo de la información y dinamiza la toma de decisiones ya que se pueden utilizar para analizar espacialmente fenómenos extremos de origen natural o sociales, analizándolos desde una perspectiva geográfica.
- Los puntos evaluados se encuentran en sitios de alta vulnerabilidad y exposición a ser impactados y dañados por escombros arrastrados por las crecidas de los ríos y quebradas que cruza la tubería, además a largo plazo la erosión del fondo profundiza el cauce y socaba el sitio, inestabilizando las estructuras.
- Se propone la construcción de seis puentes elevados tipo colgante y dos tramos de tubería enterrada, donde los puentes tienen un costo unitario cercano a los ₡5 600 000.
- El costo de total de la inversión es de aproximadamente ₡35 000 000, lo que corresponde a una inversión elevado para una ASADA, sin embargo, a partir de la finalización de todo el estudio técnico se realizará un proceso de solicitud a cooperaciones o instituciones internacionales para optar por el financiamiento necesario.
- Las amenazas por lo general siempre van a estar o posteriormente pueden aparecer, sin embargo, identificar cuando se es vulnerable y como se puede gestionar el riesgo hace la diferencia en la gravedad de la afectación. La capacidad de reaccionar ante un evento al que se está

enfrentando de manera positiva es la resiliencia, por lo que pensar en acueductos y comunidades resilientes es poner la vista en la prevención y atención a lo que ha pasado históricamente y evitar que vuelvan a ocurrir los mismos efectos bajo la incidencia de causas repetitivas.

Recomendaciones

- Como parte de las recomendaciones que se realizaron al inicio del proyecto al identificar la ausencia de información de los servicios, es que se debía de hacer un censo detallado de toda la comunidad de Cuajiniquil con el fin de determinar cuáles y cuántos son los servicios, la cantidad exacta de personas por servicio, conexiones ilegales, entre otros. A partir de dicha recomendación en la actualidad se está haciendo el censo y se proyecta a tener la información en Julio.
- Es necesario el mantenimiento preventivo de todos los elementos del sistema, tanto a nivel interno como externo, para evitar filtraciones o problemas de calidad de agua por falta de limpieza; como en el caso de los tanques impermeabilizar la estructura a lo interno. Con respecto a las tuberías, se deberán de analizar todos los tramos para identificar tuberías antiguas que se deben sustituir y se deben reforzar conexiones para evitar pérdidas de agua por acoples mal elaborados.
- En las nacientes se deben hacer los aforos desde las captaciones y no desde las cajas de reunión, para evitar errores por pérdidas de agua de la captación a la caja de reunión.
- Realizar pruebas de bombeo en cada uno de pozos con el fin de conocer su producción actual, además de estudios hidrogeológicos del acuífero, para monitorear cuál debe ser la profundidad máxima a la que puede estar el nivel del agua sin llegar a que se salinice el pozo.
- Se debe implementar control de calidad lo que quiere decir que, según la frecuencia recomendada, se deben de realizar los demás niveles (N2, N3 y N4) de los análisis y se debe cumplir con la frecuencia establecida en el Decreto 41499-S para una comunidad con población menor a 5000 habitantes como la de Cuajiniquil.
- Se considera necesario que los ingenieros encargados de determinar altimetría y planimetría en los Acueductos Comunes utilicen equipos con mayor precisión, con el fin de que no usen la información obtenida por navegadores de mano de bajo precisión, en el diseño de los distintos elementos de la infraestructura.
- Como recomendación durante el diseño de las tuberías se debe garantizar que durante la etapa constructiva no se originen deformaciones en las tuberías que comprometan la funcionalidad de estas, por lo que la tubería debe de resistir las cargas permanentes debidas al relleno, las cargas temporales y el tránsito vehicular.
- Se requiere la pronta rehabilitación del tanque ubicado en el sector carretera, como la construcción del futuro tanque que se ubicará por el sector Murciélagos. De esta forma se abastecerán los barrios con mayores problemas en épocas secas y además se estará proyectando a la comunidad para un futuro crecimiento poblacional como con la Urbanización Nueva Esperanza o el proyecto del Inder ambos localizados de manera respectiva en los dos sectores mencionados con anterioridad.
- Colocar una estación meteorológica en la zona de la Cruz, ya que al tener datos locales se podría hacer un análisis de riesgos de las comunidades a mayor escala y con el detalle necesario para poder realizarlo desde el SIG.

- Realizar campañas de racionalización y consciencia sobre el uso del agua antes de encontrarse en las épocas secas o con la incidencia de algún fenómeno como el del niño, puede ser una medida preventiva en el sentido de evitar la escasez.
- Se deben realizar los estudios de suelos, hidrológicos, hidrogeológicos y demás análisis específicos que correspondan para hacer el diseño de los puentes elevados de manera final. Según consideraciones de la CNE se deberá de construir el puente a 2 metros de altura del tirante crítico del río.
- El período de retorno que se deberá utilizar para el diseño de la infraestructura propuesta es de 25 años, como mínimo.
- Se le debe de tomar la importancia que le corresponde a los programas de Gestión Integral de Riesgo como por ejemplo a la política nacional al 2030 que hay sobre el tema generando un efecto vinculante en todas las escalas (nacional, cantonal, local y personal) logrando aplicar herramientas básicas como mapas específicos de riesgos, profesionales especialistas en el tema, conocimientos de lecciones aprendidas de distintas instituciones, entre otras medidas con el fin de adoptar una perspectiva del riesgo en la planificación y toma de decisiones.
- Tomar en consideración el mandato de este año de la Contraloría General de la

República: “Se dispone a la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) y el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), en coordinación con Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Ministerio de Vivienda y Asentamiento Humanos (MIVAH) a la incorporación de medidas de resiliencia en el ciclo de vida de la infraestructura pública. Además, revisar y ajustar la reglamentación técnica aplicable a proyectos de reconstrucción de obra, para que asegure la implementación de medidas de gestión de riesgo en el ciclo de vida de las obras.”

- Por lo que mediante metodologías de análisis del riesgo como, por ejemplo, de las más conocidas se encuentran: la del CAPRA, CEPAL, BID y ahora se incorporará el GIRA del PNUD o el desarrollo del CFIA que está tropicalizando una metodología canadiense, entre otras posibles alternativas para que la evaluación del riesgo se vuelva en una constante en los procesos constructivos.

Apéndices

- APENDICE 1. Diagrama en AutoCAD del acueducto de Cuajiniquil. (sin escala)
- APENDICE 2. Tabla de características de tuberías del acueducto de Cuajiniquil.
- APENDICE 3: Mapa del acueducto de Cuajiniquil en QGIS
- APENDICE 4: Mapa de las nacientes del acueducto de Cuajiniquil en QGIS.
- APENDICE 5: Mapa de los tanques y pozos del acueducto de Cuajiniquil en QGIS.
- APENDICE 6: Mapa del centro poblacional del acueducto de Cuajiniquil en QGIS.
- APENDICE 7: Mapa de la zona de riesgos en las tuberías del acueducto en QGIS.
- APENDICE 8. Costos puente elevado para tubería de agua potable tipo colgante.
- APENDICE 9. Costos puente elevado para tubería de agua potable tipo tubo.

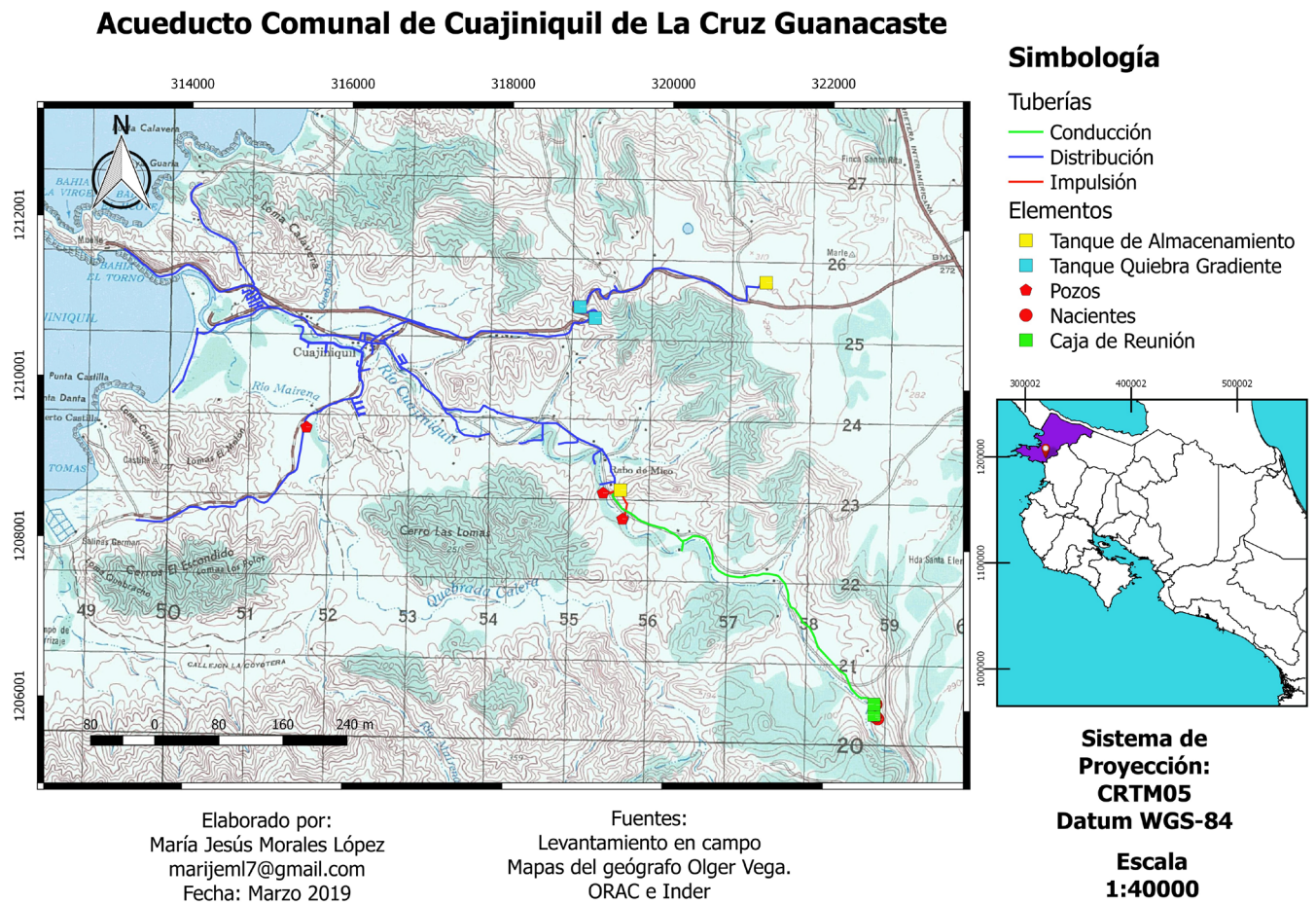
APENDICE 2. Tabla de características de tuberías del acueducto de Cuajiniquil.

Punto	Tramo	Tipo	Longitud (m)	Diámetro (pulg)	Material	Cédula	Descripción
1	1-4	Conducción	14,95	1 ½	HG		Naciente 4
2	2-4	Conducción	63,77	1 ½	HG		Naciente 6
3	2-4	Conducción	27,54	1 ½	HG		Naciente 5
4	4-8	Conducción	166,27	4,00	PVC	SDR26	Caja de reunión 1
5	5-8	Conducción	14,04	2,00	PVC	SDR26	Naciente 1
6	7-6	Conducción	21,21	2,00	PVC	SDR26	
7	7-8	Conducción	25,95	2,00	HG		Naciente 2
8	8-9	Conducción	1203,59	4,00	HG		Caja de reunión 2
9	9-14	Conducción	3616,28	4,00	PVC	SDR26	
10	9,1-10	Conducción	117,28	0,50	PVC	SDR26	
11	11-14	Impulsión	394,23	3,00	PVC	SDR32,5	Impulsa Pozo 3
12	12-14	Impulsión	222,69	2,00	PVC	SDR32,5	Impulsa Pozo 1
13	13-14	Impulsión	219,68	3,00	PVC	SDR32,5	Impulsa Pozo 5
14	14-16	Distribución	479,42	6,00	PVC	SDR26	Tanque
15	14,1-15	Distribución	179,36	0,50	PVC	SDR26	
16	16-18	Distribución	42,00	6,00	POLITIELENO	11	
17	18-17	Distribución	235,73	0,50	PVC	SDR26	
18	18-20	Distribución	340,13	6,00	PVC	SDR26	
19	20-19	Distribución	280,95	0,50	PVC	SDR26	
20	20-21	Distribución	993,74	6,00	PVC	SDR26	
21	21-23	Distribución	596,32	6,00	PVC	SDR26	
22	23-22	Distribución	13,91	6,00	POLIETILENO	11	Cruce de quebrada, 12 m de manguera
23	23-24	Distribución	46,35	6,00	PVC	SDR26	
24	24-25	Distribución	116,00	4,00	PVC	SDR26	
25	25-26	Distribución	22,77	4,00	POLIETILENO	11	
26	26-53	Distribución	1886,76	4,00	PVC	SDR26	
27	26,1-27	Distribución	765,99	1,00	PVC	SDR26	
27	26,2-27	Distribución	39,97	1,00	PVC	SDR26	
28	27-28	Distribución	10,43	1,00	PVC	SDR26	Cruce de quebrada, 42 m de manguera
29	26,3-29	Distribución	83,09	1,25	PVC	SDR26	

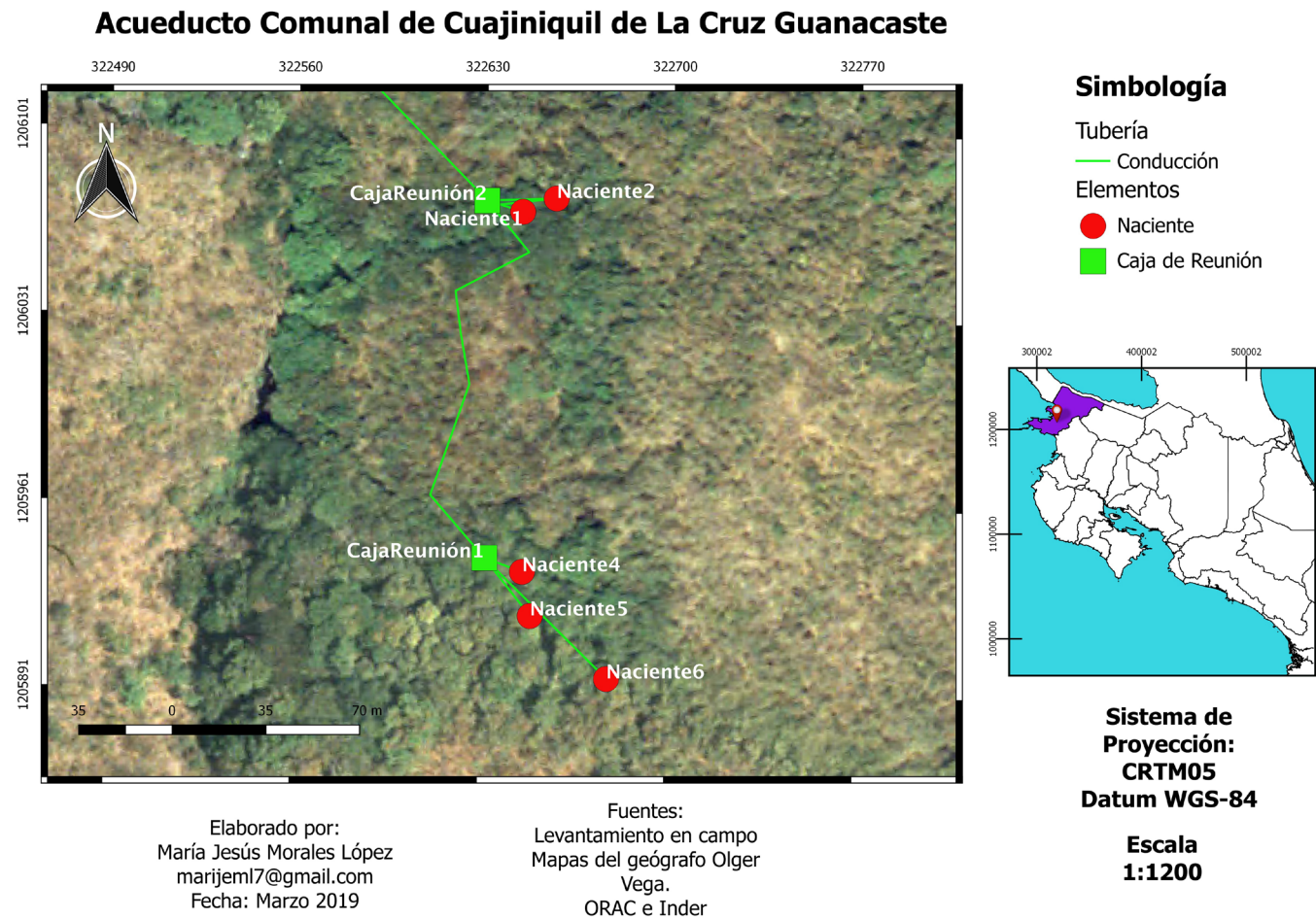
30	26,3- 30	Distribución	102,48	1,25	PVC	SDR26	
31	30,1-31	Distribución	100,18	1,00	PVC	SDR26	
32	30,2-32	Distribución	100,78	1,00	PVC	SDR26	
33	30,3-33	Distribución	107,02	1,00	PVC	SDR26	
34	26,4-34	Distribución	91,50	1,00	PVC	SDR26	
35	34-35	Distribución	212,26	0,50	PVC	SDR26	
36	26,5-36	Distribución	129,26	1,00	PVC	SDR26	
37	26,6-37	Distribución	874,03	3,00	PVC	SDR26	
38	26,61-38	Distribución	516,70	1,00	PVC	SDR26	
39	26,63-39	Distribución	89,14	1,00	PVC	SDR26	
40	26,64-40	Distribución	232,81	2,50	PVC	SDR26	
41	40,1-41	Distribución	115,56	2,00	PVC	SDR26	
42	40,2-42	Distribución	104,07	2,00	PVC	SDR26	
43	40,3-43	Distribución	96,26	2,00	PVC	SDR26	
44	40,4-44	Distribución	96,98	2,00	PVC	SDR26	
45	40,5-45	Distribución	74,90	1,00	PVC	SDR26	
46	40,6-46	Distribución	75,42	1,00	PVC	SDR26	
47	37-47	Distribución	3604,47	2,00	PVC	SDR26	
48	26,61-48	Distribución	1023,03	1,00	PVC	SDR26	
49	26,62-49	Distribución	782,44	2,00	PVC	SDR26	
50	49,1-50	Distribución	111,36	2,00	PVC	SDR26	
51	49,2-51	Distribución	106,56	2,00	PVC	SDR26	
52	49,3-52	Distribución	52,19	2,00	PVC	SDR26	
53	53-56	Distribución	160,83	3,00	PVC	SDR26	
54	53,1-54	Distribución	233,54	1,00	PVC	SDR26	
55	53,2-55	Distribución	136,09	1,00	PVC	SDR26	
56	53-56	Distribución	387,14	2,50	PVC	SDR26	
57	56-57	Distribución	804,26	4,00	PVC	SDR26	
58	57-58	Distribución	990,00	1,50	PVC	SDR26	
59	58-59	Distribución	860,21	0,50	PVC	SDR26	
60	57-60	Distribución	165,80	2,50	PVC	SDR26	
61	60,1-61	Distribución	175,09	1,00	PVC	SDR26	
62	61,1-62	Distribución	42,44	1,00	PVC	SDR26	
63	62-63	Distribución	92,60	1,00	PVC	SDR26	
64	60,2-64	Distribución	165,95	1,00	PVC	SDR26	
65	60,1-65	Distribución	111,97	1,00	PVC	SDR26	
66	65-66	Distribución	94,81	1,00	PVC	SDR26	

67	66-67	Distribución	43,79	1,00	PVC	SDR26	
68	60-68	Distribución	2086,34	2,00	PVC	SDR26	
69	68,1-69	Distribución	130,52	1,00	PVC	SDR26	
70	69,1-70	Distribución	130,37	1,00	PVC	SDR26	
71	70,1-71	Distribución	29,00	1,00	PVC	SDR26	
72	68,2-72	Distribución	1662,01	2,00	PVC	SDR26	
73	26,7-73	Distribución	1799,56	2,50	PVC	SDR26	
74	73,1-74	Distribución	852,91	3,00	POLIETILENO	13,5	
75	73,2-75	Distribución	78,95	1,00	PVC	SDR26	
76	74-76	Distribución	310,76	2,00	PVC	SDR26	
77	76-77	Distribución	4559,29	4,00	PVC	SDR26	
78	77,1-78	Distribución	54,09	0,50	PVC	SDR26	
79	77-79	Impulsión	34,00	6,00	PVC	SDR32,5	

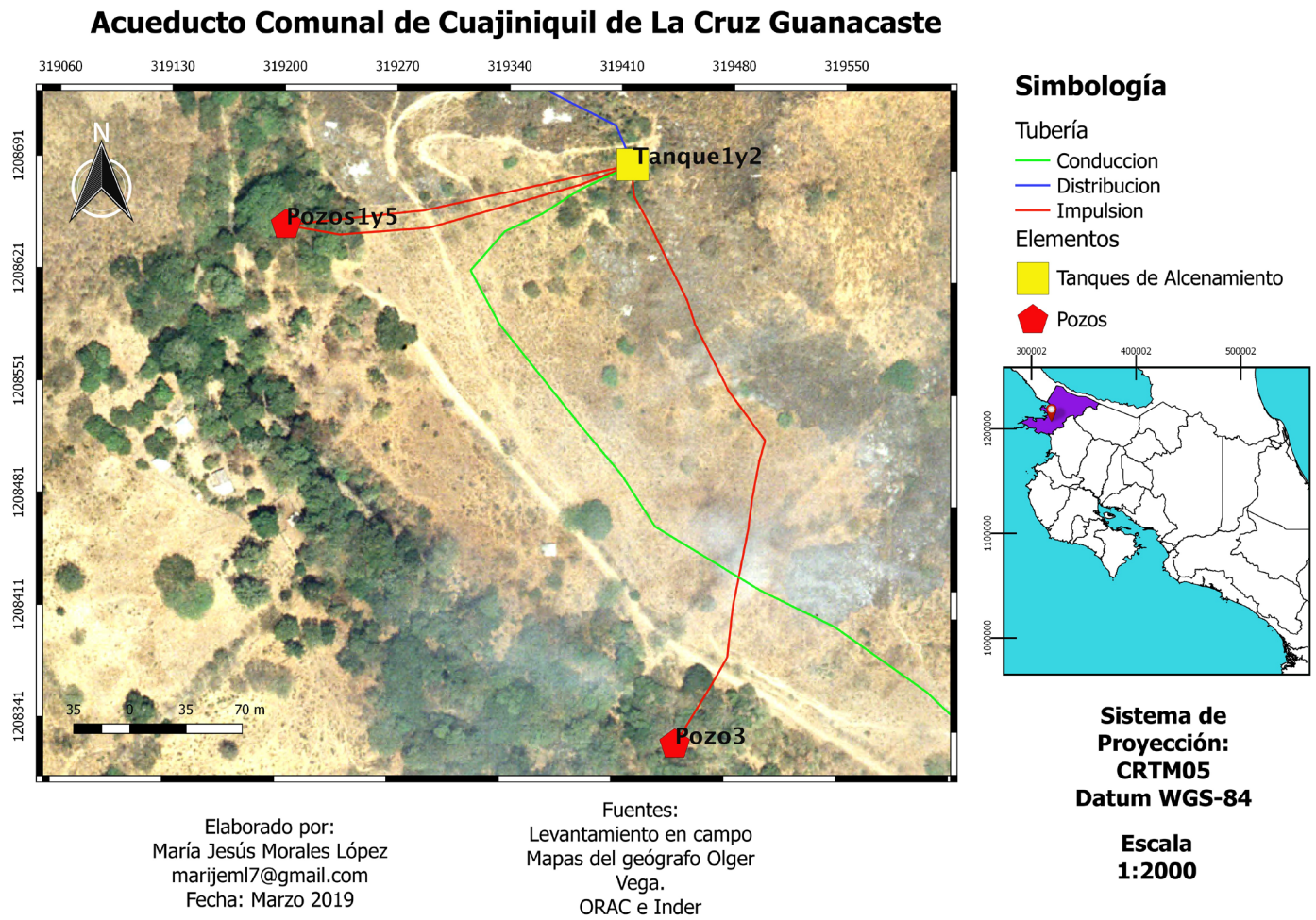
APENDICE 3. Mapa del acueducto de Cuajiniquil en QGIS



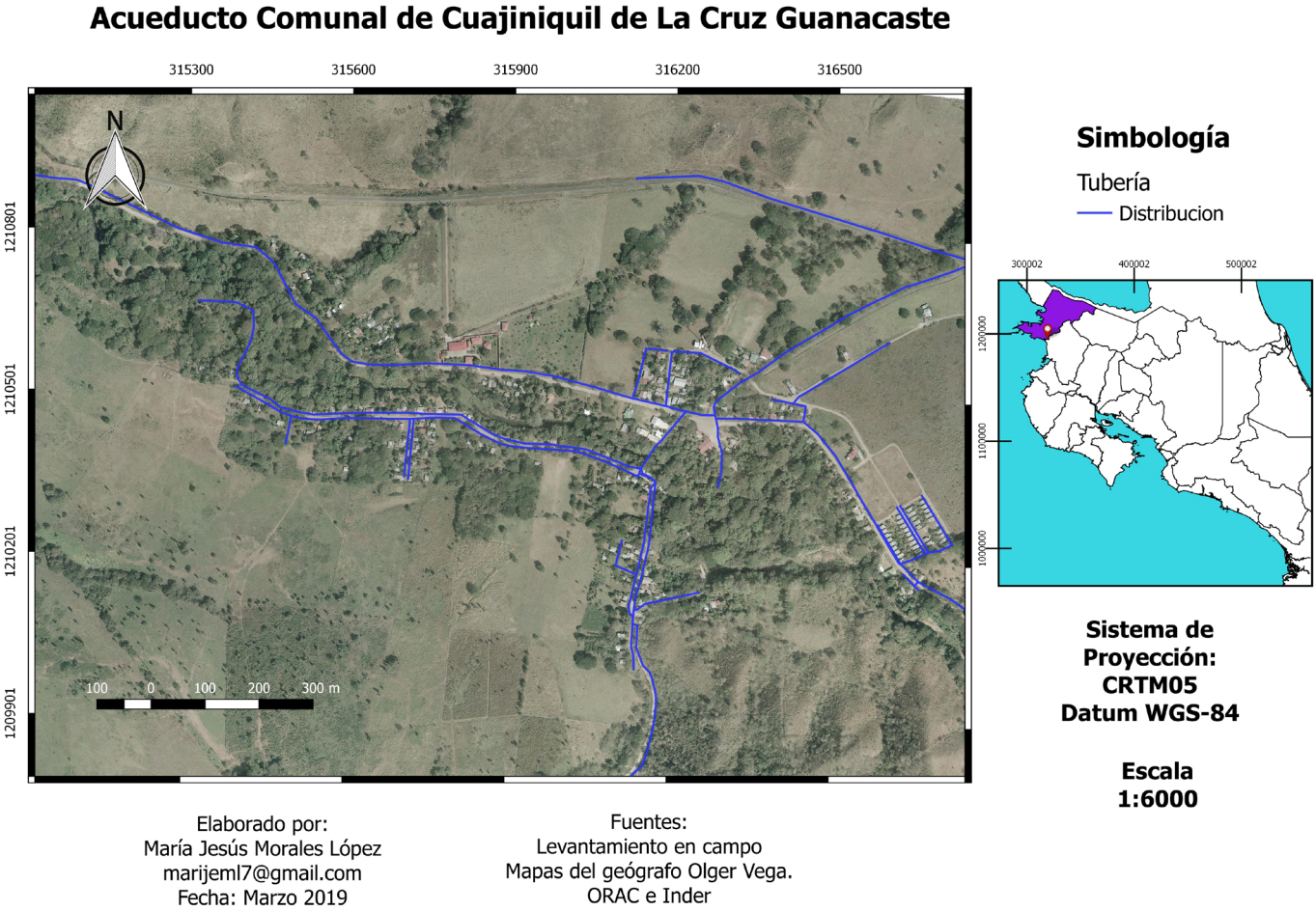
APENDICE 4. Mapa de las nacientes del acueducto de Cuajiniquil en QGIS.



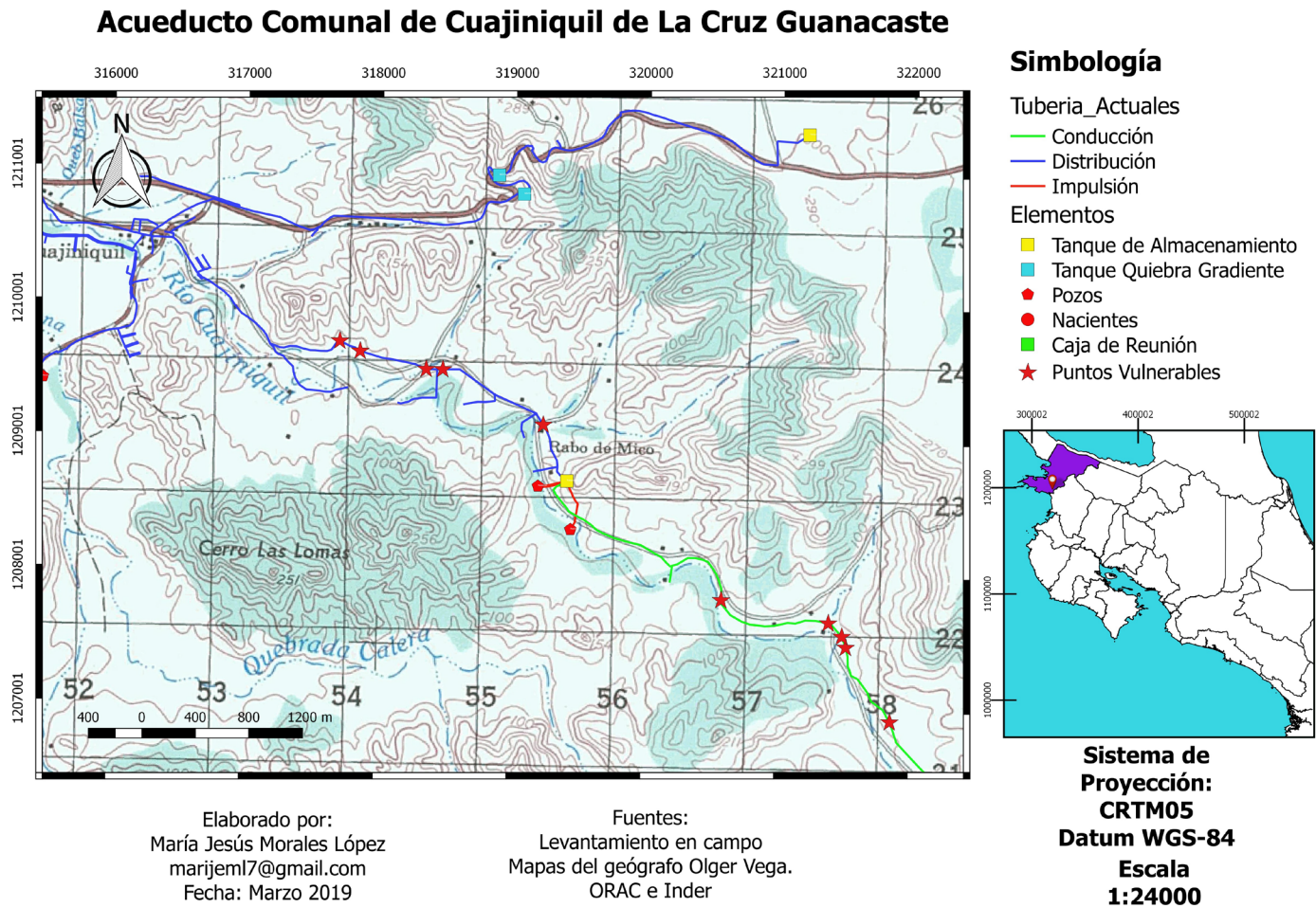
APENDICE 5. Mapa de los tanques y pozos del acueducto de Cuajiniquil en QGIS.



APENDICE 6. Mapa del centro poblacional del acueducto de Cuajiniquil en QGIS.



APENDICE 7. Mapa de la zona de riesgos en las tuberías del acueducto en QGIS.



APENDICE 8. Costos puente elevado para tubería de agua potable tipo colgante.

PASOS PUENTE COLGANTE			Diámetro (200-100) mm 10m Claro:	
Descripción	Unidad	P.Unitario	Cantidad	P.Total
OBRA GRIS				
Concreto Estructural (210)				
Formaleta	m2	¢7 293,20	20,05	¢146 202,47
Arena Tajo	m3	¢18 080,00	2,15	¢38 905,64
Piedra Cuarta	m3	¢17 757,15	4,30	¢76 421,82
Cemento Gris	saco	¢7 422,19	35,71	¢265 036,89
VARILLA #3	var	¢1 150,34	8,58	¢9 869,92
VARILLA #4	var	¢2 041,91	37,13	¢75 820,88
VARILLA #6	var	¢4 590,06	0,92	¢4 241,22
ALAMBRE #16	kg	¢496,07	8,56	¢4 247,30
Concreto Pobre (100)				
Arena Tajo	m3	¢14 683,66	0,94	¢13 753,00
Piedra Cuarta	m3	¢17 075,71	1,87	¢31 986,88
Cemento Gris	saco	¢6 050,02	8,42	¢50 952,47
TORRES DE ACERO				
Tubo redondo hierro negro 100mm cedula 40	und	¢87 959,20	1,47	¢129 006,83
PINTURA primario cromato de zinc	gal	¢59 108,50	1,25	¢73 885,63
PINTURA poliuretano acrilico	gal	¢33 955,90	1,25	¢42 444,88
SOLDADURA 1/8	kg	¢3 500,00	1,75	¢6 125,00
DISCOS P/ACERO 7"	und	¢2 100,00	4,00	¢8 400,00
Placas de asiento 300*300*19	und	¢19 140,32	4,00	¢76 561,27
Pernos de anclaje 19mm * 1000 mm	und	¢16 124,50	16,00	¢257 992,00
MECHA	kg	¢2 448,34	1,20	¢2 938,00
THINNER	gal	¢4 237,50	1,25	¢5 296,88
SOPORTE PARA TUBERIAS				
Tubo estructural tipo HSS 51 x 51 x 3 mm (VER NOTA 2)	und	¢12 814,20	1,32	¢16 914,74
Tubo estructural tipo HSS 76 x 76 x 3 mm (VER NOTA 2)	und	¢22 255,00	0,00	¢0,00
Gaza de sujeción para soporte de tuberías (VER NOTA 9)	und	¢12 823,66	2,00	¢25 647,31
Tornillos autoroscante	und	¢18,00	8,00	¢144,00
CABLES Y SISTEMAS DE SUJECIÓN				
Cables para pendolas acero 6 mm Ø 140 kg/cm3	ml	¢737,89	24,70	¢18 222,19
Terminal conica abierta 6 mm Ø (VER NOTA 10)	und	¢43 420,25	4,00	¢173 681,00
Tensor ojo y ojo 6 mm Ø (VER NOTA 11)	und	¢29 312,20	2,00	¢58 624,40
Tensor quijada y quijada 6 mm (VER NOTA 12)	und	¢33 233,30	2,00	¢66 466,60
Guardacabo 6 mm (VER NOTA 13)	und	¢1 005,70	2,00	¢2 011,40
Destorcedor 6 mm	und	¢17 153,87	2,00	¢34 307,75
Grapas 6 mm (VER NOTA 14)	und	¢2 293,90	8,00	¢18 351,20
polietileno alta densidad (VER NOTA 15)	und	¢3 000,00	6,00	¢18 000,00
Elemento fijador de pendolas (VER NOTA 16)	und	¢18 380,11	2,00	¢36 760,21
Abrazadera para tubo de 200-100 mm (VER NOTA 17)	und	¢32 700,00	2,00	¢65 400,00
TOTAL			¢1 854 619,77	

CUADRO RESUMEN MATERIALES	
OBRA GRIS	¢ 717 438,48
TORRES DE ACERO	¢ 602 650,48
SOPORTE PARA TUBERIAS	¢ 42 706,06
CABLES Y SISTEMAS DE SUJECIÓN	¢ 491 824,76
TOTAL	¢ 1 854 619,77

COSTO DE CONSTRUCCIÓN PASO PUENTE TIPO TUBO				
MATERIALES:			C\$1 854 619,77	
MANO DE OBRA				
Maestro de Obras	4	Semanas	C\$110 000,00	C\$440 000,00
Resjute de mano de obra	4	Semanas	-	-
Inspección de profesional responsable	4	Semanas	C\$75 000,00	C\$300 000,00
Vigilancia	4	Semanas	C\$65 000,00	C\$260 000,00
CARGAS SOCIALES	51	%		C\$510 000,00
EQUIPOS Y ALQUILERES				
Alquiler de mezcladoras	1	Mensual	C\$85 000,00	C\$85 000,00
Alquiler de andamios	1	Mensual	C\$72 000,00	C\$72 000,00
Acarreos de material	2	und	C\$45 000,00	C\$90 000,00
Acarreos de escombros	1	und	C\$80 000,00	C\$80 000,00
Cabañas Sanitarias	1	Mensual	C\$50 000,00	C\$50 000,00
VARIOS				
Cilindros o camisas para muestras	4	und	C\$20 000,00	C\$80 000,00
Laboratorio	1	glb	C\$60 000,00	C\$60 000,00
Pólizas todo riesgo	1	glb	C\$200 000,00	C\$200 000,00
			SUBTOTAL	C\$4 081 619,77
Depreciación de equipo y herramientas	3	%		C\$122 448,59
Imprevistos	5	%		C\$204 080,99
SUB- TOTAL MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPOS:				C\$4 408 149,35
ADMINISTRACION DE PROYECTO:	8	%		C\$440 814,94
UTILIDAD	10	%		C\$727 344,64
			TOTAL:	C\$5 576 308,93
			COSTO POR METRO:	C\$557 630,89
			COSTO 6 PUENTES:	C\$33 457 853,59

APENDICE 9. Costos puente elevado para tubería de agua potable tipo tubo.

MATERIALES PASO PUENTE TIPO TUBO			Diámetro (200-100) mm Claro: 12 m	
Descripción	Unidad	P.Unitario	Cantidad	P.Total
OBRA GRIS				
Concreto Estructural				
Formaleta	m2	₡ 7 293,20	42,92	₡312 995,10
Arena Tajo	m3	₡ 18 080,00	4,59	₡83 009,86
Piedra Cuarta	m3	₡ 17 757,15	9,18	₡163 055,13
Cemento Gris	saco	₡ 7 422,19	82,26	₡610 515,81
VARILLA #4	var	₡ 1 150,34	7,00	₡8 052,38
VARILLA #5	var	₡ 2 041,91	7,00	₡14 293,37
VARILLA #7	var	₡ 4 590,06	3,00	₡13 770,18
ALAMBRE #16	kg	₡ 496,07	4,92	₡2 440,66
Concreto Pobre				
Arena Tajo	m3	₡ 14 683,66	0,94	₡13 753,00
Piedra Cuarta	m3	₡ 17 075,71	1,87	₡31 986,88
Cemento Gris	saco	₡ 6 050,02	8,42	₡50 952,47
CERCHAS DE ACERO				
Tubo estructural tipo HSS 76 x 76 x 3 mm	und	₡ 22 823,00	2,00	₡119 780,00
Tubo estructural hierro negro 203 mm x 102 mm x 6,4 mm	und	₡ 171 760,00	0,03	₡4 580,27
PINTURA ANTICORR. MINIO	gal	₡ 27 264,00	2,80	₡76 374,53
PINTURA ANTICORR. SUR	gal	₡ 27 264,00	2,80	₡76 374,53
SOLDADURA 1/8	kg	₡ 3 500,00	15,25	₡67 283,00
DISCOS P/ACERO 7"	und	₡ 2 100,00	3,25	₡6 168,50
Tornillos autoroscante	und	₡ 18,00	8,00	₡1 600,00
Tubo estructural hierro negro 76 mm x 76 mm x 3,2 mm	und	₡ 32 996,00	13,29	₡438 450,85
Gaza de sujeción en cerchas	und	₡ 12 823,66	4,00	₡60 000,00
SOPORTE PARA TUBERIAS				
Gaza de sujeciónpara soporte de tuberias	und	₡5 000,00	2,00	₡10 000,00
MECHA	kg	₡3 260,00	2,20	₡7 172,00
THINNER	gal	₡7 853,00	5,60	₡43 997,15
Placas de asiento 300*900*12 ASTM A-36	und	₡32 664,06	2,00	₡65 328,13
Placas de union 200*300*12 ASTM A-36	und	₡5 444,01	8,00	₡43 552,08
Pernos de anclaje 12 mm * 600 mm	und	₡5 000,00	16,00	₡80 000,00
Pernos de union 12 mm * 500 mm ASTM 325	und	₡250,00	16,00	₡4 000,00
Polietileno de alta densidad	und	₡2 500,00	4,00	₡10 000,00
Angulares de 25 x 25 x 200 mm	und	₡5 965,00	0,53	₡3 181,33
Montos Totales			₡2 422 667,22	

CUADRO RESUMEN MATERIALES	
OBRA GRIS	₡1 304 824,85
CERCHAS DE ACERO	₡850 611,68
SOPORTE PARA TUBERIAS	₡267 230,70
TOTAL	₡2 422 667,22

COSTO DE CONSTRUCCIÓN PASO PUENTE TIPO TUBO			
MATERIALES:			¢2 422 667,22
MANO DE OBRA			
Maestro de Obras	5 Semanas	¢110 000,00	¢550 000,00
Resjuste de mano de obra	5 Semanas	¢0,00	¢0,00
Inspección de profesional responsable	5 Semanas	¢75 000,00	¢375 000,00
Vigilancia	5 Semanas	¢65 000,00	¢325 000,00
CARGAS SOCIALES	51 %		¢637 500,00
EQUIPOS Y ALQUILERES			
Alquiler de mezcladoras	1 Mensual	¢85 000,00	¢85 000,00
Alquiler de andamios	1 Mensual	¢72 000,00	¢72 000,00
Acarreos de material	2 und	¢45 000,00	¢90 000,00
Acarreos de escombros	1 und	¢80 000,00	¢80 000,00
Cabañas Sanitarias	1 Mensual	¢50 000,00	¢50 000,00
VARIOS			
Cilindros o camisas para muestras	4 und	¢20 000,00	¢80 000,00
Laboratorio	1 glb	¢60 000,00	¢60 000,00
Pólizas todo riesgo	1 glb	¢200 000,00	¢200 000,00
		SUBTOTAL	¢5 027 167,22
Depreciación de equipo y herramientas	3 %		¢150 815,02
Imprevistos	5 %		¢251 358,36
SUB- TOTAL MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPOS:			¢5 429 340,60
ADMINISTRACION DE PROYECTO:	8 %		¢542 934,06
UTILIDAD	10 %		¢895 841,20
		TOTAL:	¢6 868 115,86
		COSTO POR METRO:	¢572 342,99
		COSTO 6 PUENTES:	¢41 208 695,17

Anexos

ANEXO 1. Resultados análisis fisicoquímicos del agua del acueducto de Cuajiniquil de La Cruz de Guanacaste.
ANEXO 2. Resultados análisis microbiológicos del agua del acueducto de Cuajiniquil de La Cruz de Guanacaste.
ANEXO 3. Hoja de cálculo para la determinación del IRCACH en los puntos analizados de la ASADA de Cuajiniquil.

ANEXO 1. Resultados análisis físicoquímicos del agua del acueducto de Cuajiniquil de La Cruz de Guanacaste.

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Analizado por:	Manuel A. Umaña Loria
		MATRIZ:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Análisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
Tipo de Análisis	Potable N1		
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Naciente #1		

RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICO

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VA	VMA	INCERT	LD	LC	REF
1	- Primer nivel de control								
1	Cloro Residual Libre	mg/L	<0,01	0,3	0,6	0,005	0,01	0,02	EPA-330.5
1	Color Aparente	Pt-Co	<1,00	<5	15	0,15	1,00	3,00	SM-2120-C
1	Conductividad	uS/cm	132	400		4	6	8	SM-2510-B
1	Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2150-A
1	pH		6,82	6,0	8,0	0,01	0,03	0,04	SM-4500-H*B
1	Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2160-A
1	Temperatura	C	25,7		18 a 30	0,02	0,03	0,05	SM-2550-B
1	Turbiedad	NTU	0,30	1	5	0,01	0,02	0,04	SM-2130-B

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VA y VMA: Valores de Alerta y Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada

Hernán Diego Arroyo Bravo

Lic. Hernán Diego Arroyo Bravo

Regente del Laboratorio

Código: 2484



DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Analizado por:	Manuel A. Umaña Loria
		MATRIZ:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Analisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
Tipo de Análisis	Potable N1		
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Naciente #2		

RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICO

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VA	VMA	INCERT	LD	LC	REF
2	- Primer nivel de control								
2	Cloro Residual Libre	mg/L	<0,01	0,3	0,6	0,005	0,01	0,02	EPA-330.5
2	Color Aparente	Pt-Co	<1,00	<5	15	0,15	1,00	3,00	SM-2120-C
2	Conductividad	uS/cm	135	400		4	6	8	SM-2510-B
2	Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2150-A
2	pH		7,15	6,0	8,0	0,01	0,03	0,04	SM-4500-H*B
2	Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2160-A
2	Temperatura	C	25,9		18 a 30	0,02	0,03	0,05	SM-2550-B
2	Turbiedad	NTU	0,21	1	5	0,01	0,02	0,04	SM-2130-B

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VA y VMA: Valores de Alerta y Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada

Hernán Diego Arroyo Bravo

Lic. Hernán Diego Arroyo Bravo

Regente del Laboratorio

Codigo: 2484



DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Analizado por:	Manuel A. Umaña Loria
		MATRIZ:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Analisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
Tipo de Análisis	Potable N1		
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Naciente #4		

RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICO

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VA	VMA	INCERT	LD	LC	REF
4	- Primer nivel de control								
4	Cloro Residual Libre	mg/L	<0,01	0,3	0,6	0,005	0,01	0,02	EPA-330.5
4	Color Aparente	Pt-Co	<1,00	<5	15	0,15	1,00	3,00	SM-2120-C
4	Conductividad	uS/cm	134	400		4	6	8	SM-2510-B
4	Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2150-A
4	pH		7,14	6,0	8,0	0,01	0,03	0,04	SM-4500-H*B
4	Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2160-A
4	Temperatura	C	26,1		18 a 30	0,02	0,03	0,05	SM-2550-B
4	Turbiedad	NTU	0,28	1	5	0,01	0,02	0,04	SM-2130-B

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VA y VMA: Valores de Alerta y Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada

Hernán Diego Arroyo Bravo

Lic. Hernán Diego Arroyo Bravo

Regente del Laboratorio

Codigo: 2484



DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Analizado por:	Manuel A. Umaña Loria
		MATRIZ:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Analisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
Tipo de Análisis	Potable N1		
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Naciente #5		

RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICO

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VA	VMA	INCERT	LD	LC	REF
5	- Primer nivel de control								
5	Cloro Residual Libre	mg/L	<0,01	0,3	0,6	0,005	0,01	0,02	EPA-330.5
5	Color Aparente	Pt-Co	<1,00	<5	15	0,15	1,00	3,00	SM-2120-C
5	Conductividad	uS/cm	136	400		4	6	8	SM-2510-B
5	Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2150-A
5	pH		7,01	6,0	8,0	0,01	0,03	0,04	SM-4500-H*B
5	Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2160-A
5	Temperatura	C	27,2		18 a 30	0,02	0,03	0,05	SM-2550-B
5	Turbiedad	NTU	0,41	1	5	0,01	0,02	0,04	SM-2130-B

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VA y VMA: Valores de Alerta y Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada

Hernán Diego Arroyo Bravo

Lic. Hernán Diego Arroyo Bravo

Regente del Laboratorio

Código: 2484



DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Analizado por:	Manuel A. Umaña Loria
		MATRIZ:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Analisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
Tipo de Análisis	Potable N1		
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Naciente #6		

RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICO

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VA	VMA	INCERT	LD	LC	REF
6	- Primer nivel de control								
6	Cloro Residual Libre	mg/L	<0,01	0,3	0,6	0,005	0,01	0,02	EPA-330.5
6	Color Aparente	Pt-Co	<1,00	<5	15	0,15	1,00	3,00	SM-2120-C
6	Conductividad	uS/cm	135	400		4	6	8	SM-2510-B
6	Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2150-A
6	pH		6,52	6,0	8,0	0,01	0,03	0,04	SM-4500-H*B
6	Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2160-A
6	Temperatura	C	26,7		18 a 30	0,02	0,03	0,05	SM-2550-B
6	Turbiedad	NTU	0,40	1	5	0,01	0,02	0,04	SM-2130-B

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VA y VMA: Valores de Alerta y Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada

Hernán Diego Arroyo Bravo

Lic. Hernán Diego Arroyo Bravo

Regente del Laboratorio

Código: 2484



Elaborado por: LABSERVICES Página 5 of 13	Laboratorio de Aguas y Alimentos CONFIDENCIAL	
-------------------------------------------------	--------------------------------------------------	--

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por	Personal de LabServices
Direccion:	Cuajiniquil, La Cruz	Analizado por:	Manuel A. Umaña Loria
		MATRIZ:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Analisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
Tipo de Análisis	Potable N1		
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Tanque #1		

RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICO

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VA	VMA	INCERT	LD	LC	REF
10	- Primer nivel de control								
10	Cloro Residual Libre	mg/L	1,18	0,3	0,6	0,005	0,01	0,02	EPA-330.5
10	Color Aparente	Pt-Co	<1,00	<5	15	0,15	1,00	3,00	SM-2120-C
10	Conductividad	uS/cm	403	400		4	6	8	SM-2510-B
10	Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2150-A
10	pH		6,79	6,0	8,0	0,01	0,03	0,04	SM-4500-H*B
10	Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2160-A
10	Temperatura	C	27,2		18 a 30	0,02	0,03	0,05	SM-2550-B
10	Turbiedad	NTU	0,39	1	5	0,01	0,02	0,04	SM-2130-B

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VA y VMA: Valores de Alerta y Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada

Hernán Diego Arroyo Bravo

Lic. Hernán Diego Arroyo Bravo

Regente del Laboratorio

Codigo: 2484



DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Analizado por:	Manuel A. Umaña Loria
		MATRIZ:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Analisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
Tipo de Análisis	Potable N1		
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Grifo de Ilgesia Skekinah		

RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICO

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VA	VMA	INCERT	LD	LC	REF
12	- Primer nivel de control								
12	Cloro Residual Libre	mg/L	0,94	0,3	0,6	0,005	0,01	0,02	EPA-330.5
12	Color Aparente	Pt-Co	<1,00	<5	15	0,15	1,00	3,00	SM-2120-C
12	Conductividad	uS/cm	328	400		4	6	8	SM-2510-B
12	Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2150-A
12	pH		6,71	6,0	8,0	0,01	0,03	0,04	SM-4500-H*B
12	Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2160-A
12	Temperatura	C	26,6		18 a 30	0,02	0,03	0,05	SM-2550-B
12	Turbiedad	NTU	0,18	1	5	0,01	0,02	0,04	SM-2130-B

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VA y VMA: Valores de Alerta y Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Analizado por:	Manuel A. Umaña Loria
		MATRIZ:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Analisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
Tipo de Análisis	Potable N1		
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Grifo de Muelle Municipal		

RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICO

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VA	VMA	INCERT	LD	LC	REF
13	- Primer nivel de control								
13	Cloro Residual Libre	mg/L	0,11	0,3	0,6	0,005	0,01	0,02	EPA-330.5
13	Color Aparente	Pt-Co	<1,00	<5	15	0,15	1,00	3,00	SM-2120-C
13	Conductividad	uS/cm	334	400		4	6	8	SM-2510-B
13	Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2150-A
13	pH		6,62	6,0	8,0	0,01	0,03	0,04	SM-4500-H*B
13	Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2160-A
13	Temperatura	C	27,1		18 a 30	0,02	0,03	0,05	SM-2550-B
13	Turbiedad	NTU	0,12	1	5	0,01	0,02	0,04	SM-2130-B

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VA y VMA: Valores de Alerta y Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada

Hernán Diego Arroyo Bravo

Lic. Hernán Diego Arroyo Bravo

Regente del Laboratorio

Codigo: 2484



DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Analizado por:	Manuel A. Umaña Loria
		MATRIZ:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Analisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
Tipo de Análisis	Potable N1		
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Grifo de Oficina de la Asada		

RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICO

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VA	VMA	INCERT	LD	LC	REF
14	- Primer nivel de control								
14	Cloro Residual Libre	mg/L	1,04	0,3	0,6	0,005	0,01	0,02	EPA-330.5
14	Color Aparente	Pt-Co	<1,00	<5	15	0,15	1,00	3,00	SM-2120-C
14	Conductividad	uS/cm	331	400		4	6	8	SM-2510-B
14	Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2150-A
14	pH		6,62	6,0	8,0	0,01	0,03	0,04	SM-4500-H*B
14	Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable				SM-2160-A
14	Temperatura	C	28,1		18 a 30	0,02	0,03	0,05	SM-2550-B
14	Turbiedad	NTU	0,19	1	5	0,01	0,02	0,04	SM-2130-B

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VA y VMA: Valores de Alerta y Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada

Hernán Diego Arroyo Bravo

Lic. Hernán Diego Arroyo Bravo

Regente del Laboratorio

Código: 2484



Elaborado por: LABSERVICES Página 13 of 13	Laboratorio de Aguas y Alimentos CONFIDENCIAL	
--------------------------------------------------	--------------------------------------------------	--

ANEXO 2. Resultados análisis microbiológicos del agua del acueducto de Cuajiniquil de La Cruz de Guanacaste.

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por:	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
		Matriz:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
		Fecha de Análisis:	11-oct.-18
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Naciente #1		

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
1	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
1	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada



Dra. Cecilia Gonzalez Retana
Regente Laboratorio Microbiológico
Codigo: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil			Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez			Muestreado por:	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz			Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
				Matriz:	Agua de Consumo Hum
				Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:		Fecha de Análisis:	11-oct.-18
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com			Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Naciente #2				

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
2	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
2	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.


Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada


 Dra. Cecilia Gonzalez Retana
 Regente Laboratorio Microbiológico
 Código: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por:	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
		Matriz:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
		Fecha de Análisis:	11-oct.-18
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Naciente #4		

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
4	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
4	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.


Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada



Dra. Cecilia Gonzalez Retana
Regente Laboratorio Microbiológico
Codigo: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por:	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
		Matriz:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
		Fecha de Análisis:	11-oct.-18
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Naciente #6		

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
6	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
6	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada



Dra. Cecilia Gonzalez Retana
Regente Laboratorio Microbiológico
Codigo: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil	Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez	Muestreado por:	Personal de LabServices
Dirección:	Cuajiniquil, La Cruz	Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
		Matriz:	Agua de Consumo Hum
		Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com	Fecha de Análisis:	11-oct.-18
		Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:	Agua de Pozo #3		

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
7	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
7	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.


Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada


 Dra. Cecilia Gonzalez Retana
 Regente Laboratorio Microbiológico
 Código: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil			Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez			Muestreado por:	Personal de LabServices
Direccion:	Cuajiniquil, La Cruz			Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
				Matriz:	Agua de Consumo Hum
				Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:		Fecha de Análisis:	11-oct.-18
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com			Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:		Agua de Pozo #5			

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
8	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
8	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada



Dra. Cecilia Gonzalez Retana
Regente Laboratorio Microbiológico
Codigo: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil			Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez			Muestreado por:	Personal de LabServices
Direccion:	Cuajiniquil, La Cruz			Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
				Matriz:	Agua de Consumo Hum
				Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:		Fecha de Análisis:	11-oct.-18
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com			Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:		Agua de Pozo #1			

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
9	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
9	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada



Dra. Cecilia Gonzalez Retana
Regente Laboratorio Microbiológico
Codigo: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil			Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez			Muestreado por:	Personal de LabServices
Direccion:	Cuajiniquil, La Cruz			Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
				Matriz:	Agua de Consumo Hum
				Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:		Fecha de Análisis:	11-oct.-18
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com			Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:		Agua de Tanque #1			

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
10	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
10	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.

Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada



Dra. Cecilia Gonzalez Retana
Regente Laboratorio Microbiológico
Codigo: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil			Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez			Muestreado por:	Personal de LabServices
Direccion:	Cuajiniquil, La Cruz			Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
				Matriz:	Agua de Consumo Hum
				Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:		Fecha de Análisis:	11-oct.-18
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com			Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:		Agua de Tanque #2			

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
11	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
11	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.


Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada


 Dra. Cecilia Gonzalez Retana
 Regente Laboratorio Microbiológico
 Código: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil			Proc. muestreo:	LABS-PT-018	
Contacto:	Victoria Lara Martinez			Muestreado por:	Personal de LabServices	
Direccion:	Cuajiniquil, La Cruz			Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re	
				Matriz:	Agua de Consumo Hum	
				Fecha de Muestreo	11-oct.-18	
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:		Fecha de Análisis:	11-oct.-18	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com			Fecha de Reporte:	24-oct.-18	
LUGAR DE MUESTREO:		Agua de Grifo de Ilgesia Skekinah				

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
12	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
12	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.


Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada


 Dra. Cecilia Gonzalez Retana
 Regente Laboratorio Microbiológico
 Código: MQC-550

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil			Proc. muestreo:	LABS-PT-018
Contacto:	Victoria Lara Martinez			Muestreado por:	Personal de LabServices
Direccion:	Cuajiniquil, La Cruz			Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re
				Matriz:	Agua de Consumo Hum
				Fecha de Muestreo	11-oct.-18
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:		Fecha de Análisis:	11-oct.-18
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com			Fecha de Reporte:	24-oct.-18
LUGAR DE MUESTREO:		Agua de Grifo de Muelle Municipal			

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
13	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
13	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.


Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada


 Dra. Cecilia Gonzalez Retana
 Regente Laboratorio Microbiológico
 Código: MQC-550

INFORME DE RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

LABS-FPT-015B

Version 1

IDENTIFICACIÓN

LABS-ID-1160-2018

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	Asada Cuajiniquil			Proc. muestreo:	LABS-PT-018	
Contacto:	Victoria Lara Martinez			Muestreado por:	Personal de LabServices	
Direccion:	Cuajiniquil, La Cruz			Análizado por:	Dra. Cecilia Gonzalez Re	
				Matriz:	Agua de Consumo Hum	
				Fecha de Muestreo	11-oct.-18	
Teléfono:	(506) 2-679-1060	Fax:		Fecha de Análisis:	11-oct.-18	
e-mail:	acueductocuajiniquil@gmail.com			Fecha de Reporte:	24-oct.-18	
LUGAR DE MUESTREO:		Agua de Grifo de Oficina de la Asada				

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

ID RE.	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VMA	INCERT	LD	LC	REF
14	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221
14	Escherichia coli	NMP/100 mL	<1,1	Ausente	0	0	0	SM-9221

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

REF: Método Analítico Internacional. Referencia del Método Utilizado.

VMA: Valores Maximos Admisibles, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto N° 38924-S del Ministerio de Salud, publicado en la Gaceta.

*: Parametros Referidos a Laboratorio externo.


Permiso de Funcionamiento del Ministerio de Salud: CH-ARS-NI-PSF-3401-2016, Vence el 03 de agosto del 2021

Ensayos No Acreditados

Observaciones:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

Los datos reportados solo corresponden a la muestra analizada


 Dra. Cecilia Gonzalez Retana
 Regente Laboratorio Microbiológico
 Código: MQC-550

ANEXO 3. Hoja de cálculo para la determinación del IRCACH en los puntos analizados de la ASADA de Cuajiniquil.

1	Evaluación puntual implementando el IRCACH						
2	Instrucciones: Llenar solo las celdas en color verde. Verificar que el resultado anotado concuerde con el parámetro. El nivel de riesgo se genera de forma automática. No utilizar el comando "Cortar" para anotar los resultados. Anotar "D." o "D" (resultado Detectable) y "N.D." o "ND" (resultado No Detectable), un resultado anotado como "N.D" o "ND." va a dar "ERROR".						
3	Nombre del sistema	Sistema Cuajiniquil					
4	Marcar con equis (x) si el sistema es clorado	X					
5	Punto de muestreo	Agua Naciente #1					
6	Fecha de muestreo	11/10/2018					
7	ID	Análisis Potable N1					
8	PARAMETRO	Unidades	Valor Máximo Permisible	Resultado	Conformidad	Puntaje	Riesgo bajo 10% por debajo del VMA para parámetros de significado para la salud
9	Alcalinidad	mg/L	N.A.		No aplica		
10	Aluminio	µg/L	200,0		Anotar resultado		
11	Amonio	mg/L	0,50		Anotar resultado		
12	Antimonio	µg/L	5,0		Anotar resultado		
13	Arsénico	µg/L	10,0		Anotar resultado		
14	Cadmio	µg/L	3,0		Anotar resultado		
15	Calcio	mg/L	100,0		Anotar resultado		
16	Cloro Residual Libre	mg/L	0,30 - 0,60	0,01	INCUMPLE	6	
17	Cloruros	mg/L	250,00		Anotar resultado		
18	Cobre	µg/L	2000,0		Anotar resultado		
19	Color Aparente	UPt-Co	15	1,00	Cumple		
20	Conductividad	µS/cm	400	132,00	Cumple		
21	Cromo	µg/L	50,0		Anotar resultado		
22	Dureza de Calcio	mg/L	N.A.		No aplica		
23	Dureza Total	mg/L	400		Anotar resultado		
24	Fluoruros	mg/L	1,50		Anotar resultado		
25	Fosfatos	mg/L	N.A.		No aplica		
26	Hierro	µg/L	300,0		Anotar resultado		

1	Evaluación puntual implementando el IRCACH							
2	Instrucciones: Llenar solo las celdas en color verde. Verificar que el resultado anotado concuerde con el parámetro. El nivel de riesgo se genera de forma automática. No utilizar el comando "Cortar" para anotar los resultados. Anotar "D." o "D" (resultado Detectable) y "N.D." o "ND" (resultado No Detectable), un resultado anotado como "N.D" o "ND." va a dar "ERROR".							
3	Nombre del sistema		Sistema Cuajiniquil					
4	Marcar con equis (x) si el sistema es clorado		X					
5	Punto de muestreo		Agua Naciente #1					
6	Fecha de muestreo		11/10/2018					
7	ID		Análisis Potable N1					
8	PARAMETRO	Unidades	Valor Máximo Permissible	Resultado	Conformidad	Puntaje	Riesgo bajo 18X por debajo del VMA para parámetros de significación para la salud	
27	Magnesio	mg/L	50,0		Anotar resultado			
28	Manganeso	µg/L	300,0		Anotar resultado			
29	Mercurio	µg/L	1,0		Anotar resultado			
30	Níquel	µg/L	21,00		Anotar resultado			
31	Nitratos	mg/L	50,00		Anotar resultado			
32	Nitritos	mg/L	0,10		Anotar resultado			
33	Olor	N.A.	Aceptable	Aceptable	Cumple			
34	pH		6,00 - 8,00	6,82	Cumple			
35	Plomo	µg/L	10,0		Anotar resultado			
36	Potasio	mg/L	10,0		Anotar resultado			
37	Selenio	µg/L	10,00		Anotar resultado			
38	Sodio	mg/L	200,0		Anotar resultado			
39	Sulfatos	mg/L	250,00		Anotar resultado			
40	Temperatura	°C	30,0	25,7	Cumple			
41	Turbiedad	UNT	5,00	0,3	Cumple			
42	Zinc	µg/L	3000,0		Anotar resultado			
43	Coliformes fecales	NMP/100 ml UFC/100	<1		Anotar resultado			
44	Plaguicidas	µg/L	0,01		Anotar resultado			
45	TOTAL					6		
46	Nivel de riesgo		Riesgo bajo					
47	Color		Verde					
48	Calidad del agua		Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de la calidad					
49	Acciones y recomendaciones		Continuar suministro, implementar control de calidad.					

Referencias

- Arias ramírez, R., & Sánchez Hernández, L. (2010). Análisis de la desigualdad socioeconómica en Costa Rica por criterio territorial.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2010). Resolución aprobada por la asamblea general el 28 de julio de 2010, 660, 3.
- AWWA. (2009). *Water Audits and Loss Control Programs - Manual of Water Supply Practices, M36 (3rd Edition). Water audits and loss control programs.*
- AyA. (2015). Política de Organización y Fortalecimiento de la Gestión Comunitaria de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento.
- AyA. (2017). Norma Técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial.
- AyA. (2018a). *Gestión de AyA 2014-2018 Por el derecho humano al agua potable y al saneamiento.*
- AyA. (2018b). INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS INFORME DE GESTIÓN 2014-2018 M . Sc . Yamileth Astorga Espeleta Presidencia Ejecutiva de AyA.
- AyA. (2018c). REGLAMENTO PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AYA.
- AyA, CRUSA, & PNUD. (2017). Fortalecimiento del Sistema Nacional de Gestión de la Información del Recurso Hídrico (SINGIRH) por medio de la consolidación del Sistema de información de Gestión de ASADAS (SAGA), 302.
- Ballesteros, M. (2009). La prestación de los Servicios de Agua y Saneamiento con Enfoque de Gestión Integrada de Recurso Hídrico (GIRH) en Costa Rica: Situación y Sistematización de Algunas Experiencias, 1–50.
- BID. (2015). El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina.
- BID. (2019). Resumen ejecutivo de la Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático.
- BID e IDB invest. (2018). Qué es la infraestructura Sostenible?
- Brenes, A. (2016). *HUMANO SOSTENIBLE Informe final “ Gestión del riesgo y vulnerabilidad en Costa Rica .” Estado de la Nación.* San José.
- CNE. (2017). *Histórico de desastres en costa rica.*
- CNE. (2018). Estrategia nacional de contingencia para enfrentar los efectos del niño en Costa Rica, 1–20.
- Cobos, C. R., Salvador, E., Medrano, X., Reyes, V., Rica, C., Espinosa, J., & Ejecutiva, S. (2017). *La situación de los recursos hídricos en Centroamérica: Hacia una gestión integrada.*
- Córdoba, J. A. C., Castillo, G. B., & Román, A. Q. (2016). La Gestión de Riesgo a Desastres en Costa Rica : síntesis del III Congreso Nacional de Gestión de Riesgo a Desastres y Adaptación al Cambio Climático La Gestión de Riesgo a Desastres en Costa Rica : síntesis del III Congreso Nacional de Gestión de Riesgo, (January 2017). <https://doi.org/10.25100/eg.v0i12.3548>

- Costa Rica. (2007). Decreto Ejecutivo 33797-MJ-MOPT. Ministerio de Justicia y Gracia. Costa Rica.
- Costa Rica. (2019). Decreto Ejecutivo No. 41499-S El Presidente de la República y el Ministro de Salud.
- Dow, J. M., Neilan, R. E., & Rizos, C. (2009). The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. *Journal of Geodesy*, 83(3–4), 191–198. <https://doi.org/10.1007/s00190-008-0300-3>
- Farley, M. (2001). Leakage management and control.
- Franquet, J., & Gomez, A. (2010). Index - Libro 967 - NIVELACIÓN DE TERRENOS POR REGRESIÓN TRIDIMENSIONAL. *Tortosa*, 326. Retrieved from <http://www.eumed.net/libros-gratis/2011b/967/index.html>
- Froment, B. (n.d.). GPS- Métodos de Levantamiento, *Módulo 3*, 5–6.
- Geospatial, S. (2018). SP60.
- Hoyer, M. (2002). Conceptos Básicos Del Posicionamiento Gnss En Tiempo Real. Ntrip Y Tópicos Relacionados Con El Tema. Retrieved from ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-RT/03_Hoyer_GNSS_en_Tiempo_Real.pdf
- International Bank for Reconstruction and Development. (2017). *The Little Green Data Book*.
- IPCC. (2014). IPCC Report 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Summary for Policymakers. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.012>
- Landa, R., Magaña, V., & Neri, C. (2008). *Agua y clima : elementos para la adaptación al cambio climático*.
- Lemmens, M. (2014). Posicionamiento GNSS. *GIM International*, 16–21. Retrieved from http://www.gdmc.nl/publications/2014/Posicionamiento_GNSS.pdf
- León Espinoza, D., & Mata Marín, G. (2017). La desigualdad en Costa Rica y el cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, 1–20.
- Mathieu, P., & Aubrecht, C. (2018). *Earth Observation Open Science and Innovation. Earth Observation Open Science and Innovation*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-65633-5>
- Mckenzie, R., & Liemberger, R. (2017). BENCHMARKING OF LOSSES FROM POTABLE WATER RETICULATION International Benchmarking of Leakage from Water Reticulation Systems, (January 2007).
- Mideplan. (2018). *Costa Rica: Agua y Saneamiento 2030. Análisis relacionado al ODS. Public Policies for Human Development*. https://doi.org/10.1057/9780230277571_7
- Mora, D., Orozco, J., Rivera, P., Solís, Y., Zúñiga, L., Cambroner, D., & Urbina, A. (2018). *Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH)* (Vol. 2).
- Mora, D., & Portuguese, C. F. (2019). AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR PROVINCIAS Y SANEAMIENTO POR REGIONES MANEJADOS EN FORMA SEGURA EN ZONAS URBANAS Y RURALES DE COSTA RICA AL 2018.
- Mugnier, C. J. (2015). Grids & Datums. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(4), 265–267. [https://doi.org/10.1016/S0099-1112\(15\)30067-7](https://doi.org/10.1016/S0099-1112(15)30067-7)
- Murillo, J. H. (2017). *Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2017*.
- Naciones Unidas. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago.
- ONU. (2018). Agua Limpia Y Saneamiento: Por Que Es Importantes. Retrieved from

- https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- OPS. (2004). Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural. *Organización Panamericana de La Salud*, 17.
- Parry, M., Palutikof, J., Neil, Shardul, Oecd, Alcamo, J., ... Murdiyarso, D. (2007). A report accepted by Working Group II of the Intergovernmental Panel Technical Summary Coordinating Lead Authors : Lead Authors : Contributing Authors : Review Editors :, 23–78.
- Paz, O., Méndez, R., & Mukerji, R. (2017). *Infraestructura resiliente bajo un enfoque de reducción del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático*. (O. Paz & R. Villavicencio, Eds.) (Consuelo A). La Paz, Bolivia: Cooperación Suiza en Bolivia.
- Ramírez Núñez, M., & Valverde Calderón, J. F. (2015). Solución Alternativa Para La Transformación Directa De La Información Geográfica: El Caso De Costa Rica Ante El Cambio Del Sistema Oficial De Coordenadas (Lambert a Crtm05). Alternative Solution for Direct Transformation of Geographic Information: the Cas. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 15–38. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.1>
- Rodríguez, D., & Abarca, M. de los Á. (2017). Guía Básica para la reducción del agua no contabilizada.
- Roger Tomlinson. (1990). *Geographic information systems - a new frontier*. Taylor & Francis. Retrieved from https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=_y5Dk7NjEBoC&oi=fnd&pg=PP1&dq=geographic+information+system+a+frontier+tomlinson&ots=n-5gTfsHAN&sig=KITWLiQmRaYzc8IMOTbxnAy_jv4#v=onepage&q=geographic+information+system+a+frontier+tomlinson&f=false
- Sánchez, B. E. (2019). *Evaluación de riesgo de varios puntos vulnerables del acueducto comunal de La Cruz, Guanacaste*.
- Serebrisky, Suárez, A., Margot, D., & Ramirez, M. C. (2015). Financiamiento de la infraestructura en América Latina y el Caribe : ¿ C ómo , C uánto y Quién ?
- Serebrisky, T. (2013). Infraestructura sostenible para la competitividad y el crecimiento inclusivo.
- Slan, H. V., Fallas, L. C. V., & Vindas, A. R. (2012). Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático del Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales, de la Ciudad de Limón, Costa Rica. *Hidrogénesis*, 10, 28–38.
- UNISDR. (2017). Plataforma Global 2017 para la Reducción del Riesgo de Desastres 22 a 26 de mayo de 2017.

